

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUYO



DIRECCIÓN
DE POSGRADO

Doctorado en Ingeniería Industrial - Carrera Interinstitucional -

TESIS

Modelo Predictivo de Redes de Abastecimiento de Proyectos con Uso Intensivo de Recursos

Hugo Fernando Tapia

Septiembre 2020



Doctorado en Ingeniería Industrial - Carrera Interinstitucional -

Modelo Predictivo de Redes de Abastecimiento de Proyectos con Uso Intensivo de Recursos

Autor: Mgr. Ing. Hugo Fernando TAPIA

Director: Dr. Ing. Ricardo PALMA

Co-Director: Dr. Ing. Raymundo FORRADELLAS

Septiembre 2020



Dedicado a:

Marina, Alexis, Félix y Ulises

por acompañarme en el esfuerzo y mis sueños

Agradecimientos

Quería comenzar agradeciendo especialmente a Ricardo Palma y Raymundo Forradellas por confiar en mí como persona más allá de mis capacidades.

Agradezco a todas las instituciones intervinientes que hacen posible el desarrollo de las personas y las Naciones. En primer lugar, a la UNCuyo mi casa de estudios y a las Universidades que abrieron sus puertas para hacer las estancias de investigación en el exterior: *Université de Nice Sophia Antipolis* (Francia), *Université de Technologie de Troyes* (Francia) y la *Université du Québec à Trois-Rivières* (Canadá).

Un expreso reconocimiento a Jorge Moreno (director de la Diplomatura en Administración y Dirección de Proyectos - UNCuyo), por su colaboración incondicional para poder realizar el cuestionario que sustenta esta tesis.

Una mención especial de eterno agradecimiento a mis Padres que sin su esfuerzo inicial no podría haber llegado a cumplir los logros de mi vida.

RESUMEN

Parte de las economías a nivel mundial se movilizan por Industrias Basadas en Proyectos (IBP) que representan una participación importante en los ingresos de los Países. En la actualidad a los proyectos se los considera sistemas complejos. Formado por numerosos componentes interactivos (individuos, proyectos, organizaciones, materiales, máquinas y herramientas, equipos, información y dinero) donde el comportamiento agregado es no lineal.

Estudios internacionales estiman que, debido a las ineficiencias, en los proyectos se pierde aproximadamente en promedio un 10 % de lo invertido, causando un daño irreparable a las economías. En el caso de los Proyectos de Construcción (CP) a nivel global las pérdidas son cercanas al 9 % y una de las causas es el bajo desempeño de la Cadena de Suministro de la Construcción (CSC). Para mejorar el rendimiento de esta Cadena se han probado muchas estrategias, pero aún no hay una teoría y práctica consolidada.

En la actualidad existe falta de visibilidad de los procesos de la Cadena de Suministros y hay escasa evidencia de la existencia de modelos predictivos que relacionen ambos rendimientos, el de la Cadena de Suministro de la Construcción y el de los Proyectos de Construcción.

Por lo cual se estableció el objetivo de “Desarrollar un modelo predictivo de Redes de Abastecimiento de Proyectos con uso intensivo de recursos y de sitios de producción de ubicación variable, por medio del rendimiento de sus nodos y así poder predecir el valor de los rendimientos de los Proyectos de Construcción, en la Región de Cuyo Argentina (RCA)”.

Metodológicamente en primera instancia se efectuó un estudio bibliográfico detallado. Se confeccionó un Marco de Referencia del estado evolutivo de la Integración de las Cadenas de Suministro de la Industrias Basadas en Proyectos. Con lo cual se determinó que la Construcción es una de las industrias menos evolucionadas. En sincronía se realizó un estudio exploratorio para confirmar la existencia de la misma problemática en la RCA.

Posteriormente con el objeto de proporcionar un sentido de entendimiento al fenómeno de referencia, se desarrolló un estudio explicativo que permitiera encontrar las causas, expresar por qué ocurre el fenómeno y en qué condiciones se da, o por qué las variables estaban relacionadas. Esta investigación es esencialmente explicativa con elementos de los alcances descriptivos y correlacionales.

Se desarrolló un Modelo conceptual simplificado de la realidad, en el cual se definió el concepto de Red de Abastecimiento de Proyectos (PSN) de Construcción. Esta simplificación contiene los aspectos más relevantes de la Red: características del proyecto, recursos, características de los nodos de la Red, modelo de negocio, criticidad de recursos.

Para valorizar los distintos componentes de este Modelo se efectuó un diagnóstico de la Red de la RCA. El mismo se realizó por medio de búsqueda de indicadores existentes en la bibliografía y de un cuestionario (cuali-cuantitativo). De este diagnóstico surge evidencia que en la RCA el Nivel de Servicio de la CSC es de aproximadamente el 60 %. El impacto de las ineficiencias de esta Cadena afecta el rendimiento de los Proyectos de Construcción, produciendo desvíos promedio y aproximados en tiempo del 9,9 % y en costo del 4,2 %.

Para satisfacer la necesidad de contar con valores de rendimientos logísticos en diferentes regiones se desarrolló un Modelo predictivo para el LPI (logistics performance index). Este modelo está formado por un conjunto de regresiones lineales entre el LPI-PBI-PEA y actividad económica. Por ejemplo, para Mendoza se obtiene un LPI de 3,01 (60 %), valor similar al obtenido del cuestionario, por lo que el modelo produce resultados aceptables para esta investigación.

Una vez configurados los datos se procedió a realizar el estudio explicativo utilizando como herramienta la simulación. Primero se determinó la relación matemática del rendimiento de los proyectos en función de la variación del nivel de servicio de la PSN. Las expresiones simplificadas muestran al SPI y CPI en función de σ_{NSPSN} .

$$SPI = 1 / (1 + k_D * Z * \sigma_{NSPSN}); CPI = 1 / (1 + k_C * Z * \sigma_{NSPSN})$$

Basados en estas expresiones se procedió a testear un caso testigo por medio de simulación Monte Carlo (se usó planilla de cálculo y modelos basado en agentes). Los resultados de estas simulaciones se comprobaron por medio del Método Analítico del Segundo Momento, lo que asegura la fiabilidad del modelo.

Esta simulación del modelo permite determinar varias herramientas para la toma de decisiones de los directores de proyecto. A saber: valores predictivos de duración y costo con cierta probabilidad de ocurrencia, Curva S de seguimiento, criticidad de recursos y criticidad de actividades.

Dentro de los aportes más significativos de esta tesis está el gráfico índice de importancia en función de Z. Esta forma de expresar los resultados permite comparar un proyecto ejecutándose en diferentes PSN. Ofrece una medida de la respuesta de la PSN del proyecto en función de los desvíos estándar del NS_{PSN} . Pudiéndose determinar la fiabilidad o resiliencia de la PSN.

Como parte de las pruebas realizadas con el modelo se simuló por medio de ABM el aprendizaje de los distintos agentes (proveedores). Este aprendizaje es una evolución del proveedor lo que en la realidad es equivalente a un aumento de la madurez de las organizaciones. Lo cual representa una disminución del desvío estándar del nivel de servicio.

Por lo mencionado anteriormente se observa evidencia suficiente de que el modelo representa de forma robusta la relación de los rendimientos de proyectos y de sus redes de abastecimiento. Estos resultados están asociados a los sesgos y riesgos del set de datos con el cual se ha parametrizado el modelo.

Este modelo representa una herramienta para la toma de decisiones que ayuda a los decisores a configurar la Gobernanza de la Red. La adopción de un modelo de Gobernanza adaptativo o de diseño de red, permitirá aumentar la competitividad de las organizaciones de la Red.

Para futuras investigaciones se plantea la necesidad de mejorar la confiabilidad de los datos y de generar información de otras regiones y de proyectos completos. Además, para ampliar el modelo será necesario incluir los conceptos de: CMMI, BIM, y sustentabilidad. Realizando un análisis por medio de ABM.

Palabras claves: construcción, proyectos, rendimiento, cadena de abastecimiento, redes, modelo predictivo, recursos.

ABSTRACT

Part of the world's economies is mobilized by project-based industries (PBIs) that represent a significant share of the countries' income. Currently, projects are considered complex systems. Formed by numerous interactive components (individuals, projects, organizations, materials, machines and tools, equipment, information and money) where the aggregate behavior is non-linear.

International studies estimate that due to inefficiencies in the projects, an average of approximately 10 % of the investment is lost, causing irreparable damage to the economies. In the case of Construction Projects (CP) globally, losses are close to 9 % and one of the causes is the poor performance of the Construction Supply Chain (CSC). Many strategies have been tried to improve the performance of this Chain but there is still no consolidated theory and practice.

Currently there is a lack of visibility of the Supply Chain processes and there is little evidence of the existence of predictive models that relate both performances, the Construction Supply Chain and the Construction Projects.

Therefore, the objective was established to: "Develop a predictive model of Supply Networks of Projects with intensive use of resources and production sites of variable location, by means of the performance of its nodes and thus be able to predict the value of the performance of the Construction Projects, in the Region of Cuyo Argentina (RCA)".

Methodologically, a detailed bibliographic study was carried out in the first instance. A Reference Framework of the evolutionary state of the Integration of the Supply Chains of the Project Based Industries was made. This determined that Construction is one of the least evolved industries. An exploratory study was carried out to confirm the existence of the same problem in the RCA.

Later, with the aim of conceptually understanding the reference phenomenon, an explanatory study was developed to find the causes, express why the phenomenon occurs and under what conditions it does, or why the variables were related. This research is essentially explanatory with elements of the descriptive and correlational scopes.

A simplified conceptual model of reality was developed, in which the concept of the Construction Project Supply Network (PSN) was defined. This simplification contains the most relevant aspects of the Network: characteristics of the project, resources, characteristics of the nodes of the Network, business model and criticality of resources.

In order to evaluate the different components of this model, a diagnosis of the AACR network was carried out. It was carried out by means of a search of existing indicators in the bibliography and a questionnaire (quali-quantitative). From this diagnosis, it is evident that in RCA the Service Level of the CSC is approximately 60 %. The impact of the inefficiencies of this Chain affects the performance of the Construction Projects, producing average and approximate deviations in time of 9.9 % and in cost of 4.2 %.

In order to satisfy the need for logistics performance values in different regions, a predictive model for the LPI (logistics performance index) was developed. This model is formed by a set of linear regressions between the LPI-GNP-EAP and economic activity. For example, for Mendoza an LPI of 3.01 (60 %) is obtained, a value similar to the one obtained from the questionnaire. Therefore, the model produces acceptable results for this research.

Once the data were configured, the explanatory study was carried out using simulation as a tool. First, the mathematical relation of the projects' performance was determined according to the variation of the PSN's service level. The simplified expressions show the SPI and CPI as a function of σ_{NSPSN} .

$$SPI = 1 / (1 + k_D * Z * \sigma_{NSPSN}); CPI = 1 / (1 + k_C * Z * \sigma_{NSPSN})$$

Based on these expressions a project was tested by means of Monte Carlo simulation (spreadsheet and agent-based models were used). The results of these simulations were checked by means of the Second Moment Analytical Method, which ensures the reliability of the model.

This simulation of the model allows determining several tools for the decision making of the project managers. These are: predictive values of duration and cost with a certain probability of occurrence, S-curve of follow-up, criticality of resources and criticality of activities.

Among the most significant contributions of this thesis is the importance index graph as a function of Z. This way of expressing the results allows comparing a project running in different PSNs. It offers a measure of the response of the project's PSN as a function of the standard deviations of the SL_{PSN} . It is possible to determine the reliability or resilience of the PSN.

As part of the tests carried out with the model, the learning of the different agents (suppliers) was simulated through ABM. This learning is an evolution of the supplier which in reality is equivalent to an increase in the maturity of the organizations. This represents a decrease in the standard deviation of the service level.

Therefore, there is sufficient evidence that the model represents in a robust way, the relationship of the projects' performances and their supply networks. These results are associated with the biases and risks of the data set with which the model has been parameterized.

This model represents a decision-making tool that helps decision makers to shape Network Governance. The adoption of an adaptive governance model or network design will increase the competitiveness of the organizations in the Network.

For future research, there is a need to improve the reliability of the data and to generate information from other regions and complete projects. In addition, to expand the model it will be necessary to include the concepts of CMMI, BIM, and sustainability. It is recommended to carry out the analysis through ABM.

Keywords: construction, performance, projects, supply chain, networks, management

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
1 CAPÍTULO - SITUACIÓN PROBLEMA	5
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.1.1 Problema Científico	7
1.1.2 Novedad científica o de investigación.....	8
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo general.....	10
1.2.2 Objetivos específicos.....	10
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	10
1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	12
2 CAPÍTULO - PERSPECTIVA TEÓRICA –Parte I - Aspectos Generales.....	14
2.1 PROYECTOS Y GESTIÓN DE PROYECTOS.....	14
2.1.1 Definiciones.....	14
2.1.2 Clasificación de proyectos.....	14
2.1.3 Éxito.....	15
2.1.4 Madurez en gestión de proyectos.....	15
2.1.5 Gobernanza en el Project Management (GoPM).....	16
2.1.6 Estado del arte del PM.....	16
2.1.7 Gestión de recursos en PM.....	17
2.2 LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO	18
2.2.1 Definiciones.....	18
2.2.2 Estrategias en Cadenas de suministro.....	20
2.2.3 Logística en números.....	20
2.3 CADENA DE SUMINISTRO EN PROYECTOS	21
2.3.1 Aeroespacial - Aeronáutica	22
2.3.2 Construcción de Barcos.....	24
2.3.3 Petróleo y Gas	24
2.3.4 Bienes de Capital.....	25
2.4 SIMULACIÓN Y MODELOS EN SC	25
2.4.1 Modelización	26
2.4.2 Análisis predictivo	26
2.5 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	27
2.5.1 Definición	27
2.5.2 Participantes.....	27
2.5.3 Herramientas de Gestión	29
2.5.4 Riesgos.....	29
2.5.5 Recursos	30
CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVA TEÓRICA – Parte II - Aspectos Específicos	34
2.6 CADENA DE SUMINISTRO DE CONSTRUCCIÓN (CSC)	34
2.6.1 Revisión de la literatura	34

2.6.2	Construction Supply Chain Management (CSCM).....	39
2.6.2.1	Asociación – Colaboración - Integración.....	43
2.6.2.2	Selección de Proveedores	47
2.6.2.3	Riesgos.....	47
2.6.2.4	Gobernanza	48
2.6.2.5	Sustentabilidad.....	49
2.6.2.6	Filosofías de gestión: Lean, Ágil, JIT, CC (Critical Chain), ETO, Reingeniería	49
2.6.2.7	Gestión de compras	50
2.6.2.8	Modularidad -prefabricación	50
2.6.2.9	Rendimiento.....	51
2.6.2.10	Costos logísticos	52
2.6.2.11	Tecnología	52
2.6.2.12	Modelos.....	54
2.7	MARCO DE REFERENCIA.....	56
3	CAPÍTULO - ALCANCE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.1	ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.2	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	63
3.2.1	Hipótesis General	63
3.2.2	Hipótesis Secundaria	63
3.3	CONCEPCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	63
3.3.1	Variable dependiente.....	64
3.3.2	Variable Independiente.....	66
3.3.3	Operacionalización de variables.....	68
3.4	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	69
3.4.1	Estudio Exploratorio	69
3.4.1.1	Juego de Negocios - Simulación	69
3.4.1.2	Casos de proyectos de la región.....	73
3.4.2	Estudio Descriptivo.....	73
3.4.2.1	Modelo Conceptual	73
3.4.2.2	Recolección de Datos:	73
3.4.2.3	Cuestionario	74
3.4.3	Estudio Correlacional	76
3.4.4	Estudio Explicativo	76
3.4.4.1	Método Monte Carlo.....	78
3.4.4.2	Método del Segundo Momento - extraído de (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020)	81
3.4.4.3	Modelos Basados en Agentes	82

4	CAPÍTULO - ESTUDIO EXPLORATORIO Y DESCRIPTIVO	85
4.1	Estudio Exploratorio.....	85
4.1.1	Juego de Negocio – Simulación	85
4.1.2	Casos de proyectos de la región.....	86
4.1.3	Discusión	87
4.2	Estudio Descriptivo.....	88
4.2.1	Modelo Conceptual	88
4.2.1.1	Red de abastecimiento del proyecto (PSN).....	90
4.2.1.2	Tipología de empresas que se pueden presentar en el conjunto de proveedores... 92	
4.2.1.3	Modelo de negocio.....	93
4.2.1.4	Zonas de influencia según la ubicación.....	94
4.2.1.5	Propuesta de diagrama conceptual.	95
4.2.2	Recolección de Datos	97
4.2.2.1	Archivos.....	97
4.2.2.2	Análisis Secundario.....	105
4.2.3	Cuestionario (Fuente F9).....	110
4.2.4	Comparación de fuentes	112
4.2.5	Diagnóstico	113
4.2.5.1	Gestión del Proyecto	114
4.2.5.2	Sitio de producción (emplazamiento).....	114
4.2.5.3	Transportes al sitio de producción y a la base del contratista.....	115
4.2.5.4	Contratista.....	115
4.2.5.5	Proveedores de primer nivel.....	116
4.2.5.6	Relación logística y SC-con el rendimiento del proyecto	117
5	CAPÍTULO - ESTUDIO CORRELACIONAL	118
5.1	Análisis de variables	118
5.2	Correlación - Nivel de servicio de CSC – Rendimiento de los proyectos.....	120
5.3	LPI – PBI per cápita según actividad económica	121
5.3.1	Desarrollo del modelo	121
5.3.1.1	Instancia 1- Correlacional-exploratorio.....	121
5.3.1.2	Instancia 2 – Estudio de clústeres	123
5.3.1.3	Instancia 3- Actividades económicas.....	123
5.3.1.4	Instancia 4 – Ajuste de datos y clústeres	125
5.3.1.5	Instancia 5 - Reflexión	130
5.3.1.6	Instancia 6 –Modelos de correlación LPI-PBIPEA según actividad económica	130
5.3.2	Aplicación a la Provincia de Mendoza (RCA).....	132

5.4	Conclusiones.....	134
6	CAPÍTULO - ESTUDIO EXPLICATIVO - Parte I - MODELO	137
6.1	Modelo	137
6.1.1	Datos planificados	137
6.1.2	Datos de modelación de red	139
6.1.3	Datos planificados y de modelo de Red	140
6.1.4	Métodos de simulación	141
6.1.5	Supuestos de Predicción	142
6.1.5.1	Primer Supuesto.....	142
6.1.5.2	Segundo supuesto	145
6.1.5.3	Tercer supuesto.....	145
6.2	Simulación Monte Carlo	146
6.2.1	Constantes de proporcionalidad ($K_{C/Dj}$).....	146
6.2.2	Predicción de rendimiento del proyecto.....	150
6.2.2.1	Resultados Caso 1 genérico.....	151
6.2.2.2	Correlaciones Estado I.....	153
6.2.2.3	Correlaciones estado CM	154
6.2.2.4	Criticidad de recursos y actividades.....	156
6.2.2.5	Límites de predicción y probabilidades de ocurrencia.....	158
6.2.2.6	Predicción de valores de la Curva S.....	160
6.2.2.7	Predicción para SPI y CPI para distintos valores de avances.....	161
6.2.2.8	Predicción para el caso de mejora del NS de un recurso	162
	CAPÍTULO 6 - ESTUDIO EXPLICATIVO – Parte II – COMPROBACIONES	165
6.3	Analítica del segundo momento	165
6.4	Caso 2	167
6.4.1	Comparación con Caso1.....	169
6.5	Modelo Basado en Agentes (ABM)	173
6.5.1	Simulación de verificación.....	173
6.5.2	Aplicación del ABM	179
7	CAPÍTULO DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	183
7.1	DISCUSIÓN.....	183
7.1.1	Análisis de la Perspectiva Teórica (aspectos específicos)	183
7.1.2	Análisis de los estudios exploratorios, descriptivos y correlacionales.....	183
7.1.2.1	Exploratorio.....	184
7.1.2.2	Descriptivo.....	184
7.1.2.3	Diagnóstico.....	184
7.1.2.4	Sesgo o Riegos de los datos.....	188

7.1.2.5	Correlacional	188
7.1.3	Análisis del estudio explicativo	189
7.1.3.1	Modelo matemático simplificado	189
7.1.3.2	Caso 1 – simulación	190
7.1.3.3	Analítica del segundo momento	191
7.1.3.4	Estudio del Caso 2	191
7.1.3.5	Modelado Basado en Agentes.....	192
7.2	Contrastación de resultados con otros estudios similares	192
7.3	Contrastación de hipótesis con los resultados.....	194
7.3.1	Hipótesis Secundaria	194
7.3.2	Hipótesis General	195
7.4	CONCLUSIONES	196
7.4.1	Conclusiones Generales	196
7.4.2	Aportes	205
7.4.3	Líneas de Investigación Futuras	205
7.4.4	Posibilidades de transferencia al ecosistema local	206
8	BIBLIOGRAFÍA	208
ANEXOS	220
	ANEXO I - Inventario de artículos.....	221
	ANEXO II - Indicadores de Países.....	247
	ANEXO III - Cuestionario	255
	ANEXO IV - Análisis de Variables	270
	ANEXO V - Correlación LPI.....	279
	ANEXO VI - ABM (Código Netlogo).....	286
	ANEXO VII – Figuras Ampliadas.....	327

FIGURAS

Figura 1- 1 Problemas de la CSC - extraído de (Vrijhoef, 2011)	6
Figura 2 - 1 Estructura de Desglose de Recursos, extraído de (PMI, 2017)	18
Figura 2 - 2 Logística y actividades económicas, extraído de (Farahani et al., 2009)	21
Figura 2 - 3 Interacción entre los agentes en la construcción,	28
Figura 2 - 4 – CSC distintos tipos de integraciones desde el hacer a pedido hasta el.....	29
Figura 2 - 5 Problemas en la CSC, extraído de (Vrijhoef, 2011)	¡Error! Marcador no definido.
Figura 2 - 6 Estructura de Riesgos, extraído de (El-Sayegh, 2008).....	30
Figura 2 - 7 Comparativa de artículos por año	36
Figura 2 - 8 Cuatro funciones de la gestión de la cadena de suministro que integran el suministro ...	40
Figura 2 - 9 Rol 4 de la CSC. Extraído de (Vrijhoef & Koskela, 2000).....	56
Figura 2 - 10 Modelo de Negocio. Adaptado de (Vrijhoef, 2011)	56
Figura 2 - 11 Complejidad de Integración de la SC de las IBP	57
Figura 3 - 1 –Mapa mental del Alcance y Diseño de la Investigación	63
Figura 3 - 2 – CSC simulada en el juego.....	71
Figura 4 - 1 Variación de índice Riesgo País 8/19 - Argentina	87
Figura 4 - 2 – Zonas de la CSC, adaptado de (Vrijhoef, 2011)	90
Figura 4 - 3 - Red de Abastecimiento del Proyecto (PSN) Modelo conceptual de red de nodos y transportes para un modelo simplificado de abastecimiento de recursos en un proyecto	92
Figura 4 - 4 Dinámica de los procesos logísticos, extraído (Tapia & Phillpott, 2012).....	93
Figura 4 - 5 Modelo de Negocio, adaptado de (Vrijhoef, 2011).....	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 - 6 - Zonas de influencia del proyecto	94
Figura 4 - 7 – Modelo Conceptual para Simulación de PSN	95
Figura 4 - 8 – LPI – Log PBI, extraído de (Arvis et al., 2018)	99
Figura 4 -9 – Factores competitivos, extraído de (Tapia & Phillpott, 2012)	107
Figura 4 - 10 – Modelo simplificado de la PSN y valores obtenidos del diagnóstico	117
Figura 5 - 1 – Histograma y distribución β adoptada (ejemplo de variables NSRI y NSPMIX)	119
Figura 5 - 2 – Ejemplo de distribución β adoptada para el NS de la Mano de Obra.....	120
Figura 5 - 3 Correlaciones entre variables.....	120
Figura 5 - 4 Regresión lineal del PBI-LPI	122
Figura 5 - 5 Log PBI per capita vs LPI	122
Figura 5 - 6 Correlaciones del PBI.....	122
Figura 5 - 7 – LPI vs PBI per PEA	123
Figura 5 - 8 - Clústeres LPI-PBI per PEA	123
Figura 5 - 9 - Clústeres según Actividad Económica como porcentaje del PBI	125
Figura 5 - 10 – Estudio de Clústeres del grupo PBIPEA<10000	126
Figura 5 - 11 – Distribuciones para grupo General	126
Figura 5 - 12 – Análisis de clúster jerárquico para grupo General	127
Figura 5 - 13 - Distribuciones para grupo Services.....	127
Figura 5 - 14 - Análisis de clúster jerárquico para grupo Services.....	128
Figura 5 - 15 - Distribuciones para grupo Oil.....	128
Figura 5 - 16 - Análisis de clúster jerárquico para grupo Oil	129
Figura 5 - 17 - Distribuciones para grupo PBI < 7000.....	129
Figura 5 - 18 – Regresiones lineales por grupos.....	131

Figura 5 - 19 - Estimaciones por medio de Regresiones lineales – Para Mendoza	133
Figura 5 - 20 – Estimaciones de niveles de servicio logístico para localidades de Mendoza.....	134
Figura 6 - 1 – Modelo Conceptual	137
Figura 6 - 2 – Secuenciación de actividades.....	137
Figura 6 - 3 – Flujo de costos acumulados (Curva S).....	138
Figura 6 - 4 – Criticidad de Actividades	140
Figura 6 - 5 – Criticidad de Recursos	141
Figura 6 - 6 – Simulaciones para determinar constante k.....	147
Figura 6 - 7 – SPI $f(k)$ para diferentes estados.....	147
Figura 6 - 8 – CPI $f(k)$ para distintos estados	148
Figura 6 - 9 – Límite superior de CPI $f(k)$	148
Figura 6 - 10 – Objetivo SPI	149
Figura 6 - 11 – Intervalo de k.....	149
Figura 6 - 12 – Valor de predicción.....	150
Figura 6 - 13 – Histogramas – Estado I.....	151
Figura 6 - 14 – Histogramas – Estado CM.....	152
Figura 6 - 15 – Estado I - nube de puntos.....	152
Figura 6 - 16 – Estado CM – nube de puntos	152
Figura 6 - 17 – Comparación de estado I y CM	153
Figura 6 - 18 – Correlaciones de recursos del Estado I	153
Figura 6 - 19 – Correlaciones de duraciones del Estado I	154
Figura 6 - 20 – Correlaciones de Costos del Estado I	154
Figura 6 - 21 – Correlación de recursos de Estado CM	155
Figura 6 - 22 – Correlaciones de duraciones del Estado CM.....	155
Figura 6 - 23 – Correlaciones de costos del Estado CM	156
Figura 6 - 24 – Criticidad de Recursos Estado I	156
Figura 6 - 25 – Criticidad de actividades del Estado I.....	157
Figura 6 - 26 – Criticidad de recursos Estado CM.....	157
Figura 6 - 27 – Criticidad de actividades del.....	157
Figura 6 - 28 – Criticidad de Actividades, comparativa Estado I-CM	158
Figura 6 - 29- Límites de predicción y probabilidad de ocurrencia en Estado I	159
Figura 6 - 30 – Límite de predicción SPI del Estado CM	159
Figura 6 - 31 – Límite de predicción CPI del Estado CM.....	159
Figura 6 - 32 – Límites de predicción SPI, comparación Estado I-CM	160
Figura 6 - 33 – Comparativas de Curva S.....	161
Figura 6 - 34 – Predicciones de SPI y CPI para distintos estados de avances.....	162
Figura 6 - 35 – Predicción de SPI-CPI con mejoras	163
Figura 6 - 36 – Predicciones con mejora en Curva S	163
Figura 6 - 37 – Predicciones con mejora en Curva S, para cada Estado.....	163
Figura 6 - 38 – Histograma y curvas de distribución aproximadas	165
Figura 6 - 39 – Histograma y curvas de distribución aproximadas	166
Figura 6 - 40 – Estimación para Estados I-CM	167
Figura 6 - 41 – Predicciones Caso 1 – Estado I	168
Figura 6 - 42 – Predicciones Caso 1 – Estado CM.....	168
Figura 6 - 43 – Comparación SPI – Estado I – Casos 1-2.....	169
Figura 6 - 44 - Comparación SPI – Estado CM – Casos 1-2	170
Figura 6 - 45 – Comparaciones en gráficos Z.....	171

Figura 6 - 46 – Índice de importancia en $f(Z)$	172
Figura 6 - 47 – Comparación para un valor intermedio de correlación	172
Figura 6 - 48 – Red simplificada	173
Figura 6 - 49 – Gráfico del modelo de la red en Netlogo	174
Figura 6 - 50 – Simulación Caso 1 – Estado I	176
Figura 6 - 51 – Simulación Caso 1 – Estado CM.....	176
Figura 6 - 52 Comparación de predicciones por distintos métodos – Estado I.....	178
Figura 6 - 53 Comparación de predicciones por distintos métodos – Estado CM	178
Figura 6 - 54- Comparación de criticidad de actividades por ambos métodos.....	179
Figura 6 - 55 – Resultados de simulación de aprendizaje	181
Figura 7 - 1 Logística y actividades económicas, extraído de (Farahani et al., 2009)	193
Figura 7 - 2 Importancia relativa de los recursos	194
Figura 7 - 3 Índice de importancia en función de Z.....	195
Figura 7 - 4 Resumen de conclusiones	204

TABLAS

Tabla 2 - 1 – Términos de búsqueda	34
Tabla 2 - 3 Comparación de Temas y País de Filiación	35
Tabla 2 - 4 Temas principales y asociados.....	36
Tabla 2 - 5 Resumen de los sitios de publicación para el 80 % de los artículos	36
Tabla 2 - 6 Autores y temas principales	37
Tabla 2 - 7 – Temas – subtemas y autores	39
Tabla 2 - 8 – Resultados de (Meng, 2010).....	51
Tabla 4 – 1 – Profesiones de los participantes	85
Tabla 4 - 2- Resultados Simulación Juego de Negocio	86
Tabla 4 - 3 – Resultados Casos	86
Tabla 4 - 4 – Características de las zonas de influencia	94
Tabla 4 - 5 – Comparación de indicadores Logísticos para América Latina y Argentina.....	102
Tabla 4 - 6 – Comparación de la industria de la Construcción	104
Tabla 4 - 7 – Comparativa de indicadores de logística y proyectos (valores en %)	105
Tabla 4 - 8 – Caracterización de la Muestra	111
Tabla 4 - 9 – Madurez de las organizaciones en Gestión de Proyectos	111
Tabla 4 - 10 – Rendimiento de proyectos (en %)	111
Tabla 4 - 11 – Recursos de los proyecto (en %).....	112
Tabla 4 - 12 – Logística y Cadena de Abastecimiento (en %)	112
Tabla 4 - 13 – Rendimientos en proyectos y logística de las organizaciones de la RCA (en %)	113
Tabla 4 - 14 Causas de pérdidas de no cumplimiento lo planificado (en %).....	113
Tabla 5 - 1 – Clústeres según Actividad Económica como porcentaje del PBI	124
Tabla 5 - 2 - Test de Regresión lineal para los distintos grupos	130
Tabla 5 - 3 – Caracterización de los Grupos por Actividad Económica	132
Tabla 5 - 4 – Tabla resumen de definición de LPI según tipo de grupo para Mendoza	133
Tabla 6 - 1 – Resumen de planificación del proyecto	138
Tabla 6 - 2 – Resumen de recursos	139
Tabla 6 - 3 –Valores de referencia según cuestionario	145
Tabla 6 - 4 – Intervalos de k	149
Tabla 6 - 5 – Valores obtenidos de simulación.....	151
Tabla 6 - 6 – Comparación de valores principales - Tiempo	165
Tabla 6 - 7 – Comparación de valores principales - Costo	166
Tabla 6 - 8 – Diferencias de estimación.....	167
Tabla 6 - 9 – Comparación de métodos de cálculo, Estado I.....	177
Tabla 6 - 10 – Comparación de métodos de cálculo, Estado CM	177
Tabla 6 - 11 – Comparación de valores para diferentes ciclos de aprendizaje	180
Tabla 7 - 1 Comparación de ciclos de aprendizaje	196

ABREVIATURAS

- ABC: costo basado en actividades
ABM: modelo basado en agentes
AC costo real
AEC: arquitectura, ingeniería y construcción
BIM: *building information modelling/management*
CC: cadena crítica
CCPM: *critical chain project management*
CMMI: *Capability Maturity Model Integration* (Modelo de Madurez de Capacidades de integración)
CP: proyecto de construcción (*construction Project*)
CPI *cost performance index*
CSC: cadena de suministro de la construcción (*construction supply chain*)
CSC: cadena de suministro de la construcción (*construction supply chain*)
CSCM: gestión de la cadena de suministro de la construcción (*construction supply chain management*)
DEIE: Dirección de Estadísticas e Investigaciones de Mendoza
DES: simulación de eventos discretos
DP Diplomatura de Posgrado en Dirección de Proyectos
EDT estructura de desglose del trabajo
ETO: *Engineering to Order*
EV valor ganado
EVA *earned value analysis*
F1 Fuente 1 (F2 fuente 2, ... etc.)
FIUNCuyo: Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cuyo
GoPM: gobernanza en gestión de proyectos (*Governance Project management*)
IBP: industrias basadas en proyectos (organizaciones basadas en proyectos)
IOIS: sistemas de información interorganizacional
JIC: *just in case*
JIT: *just in time*
LPI *Logistics Performance Index*
Mdo: rendimiento de la mano de obra.
NS: nivel de servicio
NSArg: nivel de servicio de proveedores Nacionales
NSC: nivel de servicio del contratista
NSE cumplimiento de la entrega de los proveedores externos
NSI cumplimiento de la entrega de los proveedores internos
NSI: nivel de servicio de la infraestructura regional
NSInt: nivel de servicio de proveedores internacionales
NSPMIX: nivel de servicio del conjunto de proveedores del proyecto
NSPREG: nivel de servicio de los proveedores regionales
NSRI: nivel de servicio de los recursos internos
NSS: nivel de servicio en el sitio del proyecto

NSW: nivel de servicio de los almacenes del contratista y el sitio de proyecto
OPM3: modelo de madurez de la gestión de proyectos (*organizational Project management maturity model*)
PBG: producto bruto geográfico
PBI: producto bruto interno
PEA: población económicamente activa
PM: dirección de proyectos (*project management*)
PMI: *Project Management Institute*
PMMM modelo de madurez de la gestión de proyectos (*Project management maturity model*)
POF: cumplimiento perfecto del pedido (*perfect order fulfillment*)
PSN o SNP: red de abastecimiento de proyectos (*project supply network*)
PV valor planificado
PVC: variación del costo del proyecto
PVT: variación del tiempo del proyecto
RA avance de construcción a la finalización del tiempo
RCA Región de Cuyo Argentina
REVC: variación de costo debido a los recursos externos
REVT: variación de tiempo debido a los recursos externos
RFID: Radio Frequency Identification
RIVC: variación del costo debido a los recursos internos
RIVT: variación del tiempo debido a los recursos internos
RP: rendimiento de proyectos
SC: cadena de suministro o de abastecimiento (*supply chain*)
SCM: gestión de la cadena de suministros (*supply chain management*)
SCOR: *Supply Chain Operations Reference*
SCP *supply chain performance*
SCR: cadena de suministro resiliente (*supply chain resiliente*)
SD: dinámica de sistemas
SIG: Sistema de información geográfica
SN: red de abastecimiento (*supply network*)
SPI *Schedule performance index*
TF indicador de tiempo necesario para finalizar la simulación
UK: *United Kingdom*
WB *World Bank*
WEF *World Economic Forum*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en el mundo, una gran cantidad de proyectos se terminan sin cumplir alguno de los parámetros que el *Project Management* (PM) denomina restricción triple (alcance, costo y tiempo). Lo que se traduce en una pérdida promedio a nivel global de aproximadamente el 10 % de lo que se invierte en los proyectos.

Parte de las economías a nivel mundial se movilizan por industrias basadas en proyectos (IBP) que requieren una cantidad importante de recursos (humanos, materiales, máquinas y herramientas, equipos, información, dinero) para su ejecución. La ineficiencia de la utilización y coordinación de estos recursos tienen consecuencias nocivas.

Entonces, ¿cuáles son los parámetros que definen cuando un proyecto tiene éxito? Según Verzuh (Verzuh, 2020) son aquellos proyectos que terminan en tiempo, presupuesto y cumpliendo el alcance (entregables, calidad, funcionalidad). También, se menciona el éxito en la cadena crítica (CC) (Leach, 2000) y en la ejecución (Kerzner, 2017). Otros autores diferencian entre el éxito del proyecto y el éxito de la gestión del proyecto. El primero se mide por el cumplimiento de los objetivos que satisface el proyecto y el segundo por los parámetros de alcance, costo y tiempo.

En los proyectos con una gran cantidad de recursos (uso intensivo) la falta de previsión y provisión de los mismos puede afectar la restricción triple, por lo que se hace necesario -para lograr el éxito de la gestión- la aplicación de la gestión logística y el *Supply Chain Management* (SCM).

La gestión logística y el SCM toman relevancia en proyectos de tamaño mediano, grande y megaproyectos, que en la actualidad tienden a la internacionalización. Estos proyectos se encuentran en industrias como: construcción, aeronáutica y aeroespacial, petróleo y gas, construcción de barcos, fabricación de bienes de capital, entre otras.

En general su ejecución suele ser traumática (retrabajos, conflictos, malas interpretaciones, etc.) y se pone en peligro la satisfacción del cliente (la persona u organización que necesita el proyecto).

Generalmente, las ineficiencias están causadas por la falta de visibilidad de los procesos en la SC de los proyectos. Además, debido a los cambios constantes en el contexto mundial, ya no

alcanza con los conceptos tradicionales de SCM, sino es necesario comprender los conceptos de la *Supply Chain Resiliente (SCR)*.

Por otra parte, la industria de la construcción es uno de los contribuyentes industriales más importantes a la economía en términos de producto bruto y empleo. Como resultado, el éxito de un proyecto de construcción es una cuestión fundamental para la mayoría de los gobiernos, usuarios y comunidades.

El cliente, en general, no interactúa con un solo proveedor que entrega llave en mano el proyecto, sino que lo hace con un conjunto de ellos. Pero sea en el cliente o en la empresa contratista principal del proyecto, siempre hay una gran cantidad de recursos que se deben gestionar. Recursos, cuyo rendimiento se aleja del ideal.

La logística se puede aplicar desde el punto de vista global (red logística), así como a cada una de las unidades que conforman esta red (proyecto, constructor, proveedores, etc.) (Tapia & Phillipott, 2012). Para diseñar una estrategia logística, primero se debe responder: cómo fluyen los bienes, el dinero y las decisiones cliente – proveedores – clientes, cuál es el grado de integración o colaboración que existe entre las empresas. También, en qué contexto se encuentra el proyecto (Guérin & Brun, 2014).

Por lo cual, debido a la falta de visibilidad de la SC en los proyectos de construcción es que se propone realizar una revisión bibliográfica, establecer un marco de referencia, estudiar indicadores relacionados con el rendimiento logístico y de la gestión de proyectos. Así, poder concebir un modelo predictivo con el cual comprender las falencias del sistema y realizar propuesta de mejoras.

A través de este modelo predictivo se establecerá cuál es la relación entre el nivel de servicio (NS) de la Cadena de Suministros (abastecimiento) de la construcción (CSC) y su incidencia en el rendimiento de los proyectos (RP). La tesis se enfocará en los proyectos que requieren una gran cantidad de recursos y su ejecución no siempre es un mismo sitio de producción (minería, industriales, gobierno, construcción, energía, etc.). La aplicación concreta será en proyectos de Construcción de la Región de Cuyo Argentina (RCA).

En la figura I-1 se observa el mapa mental de la estructura de la tesis.

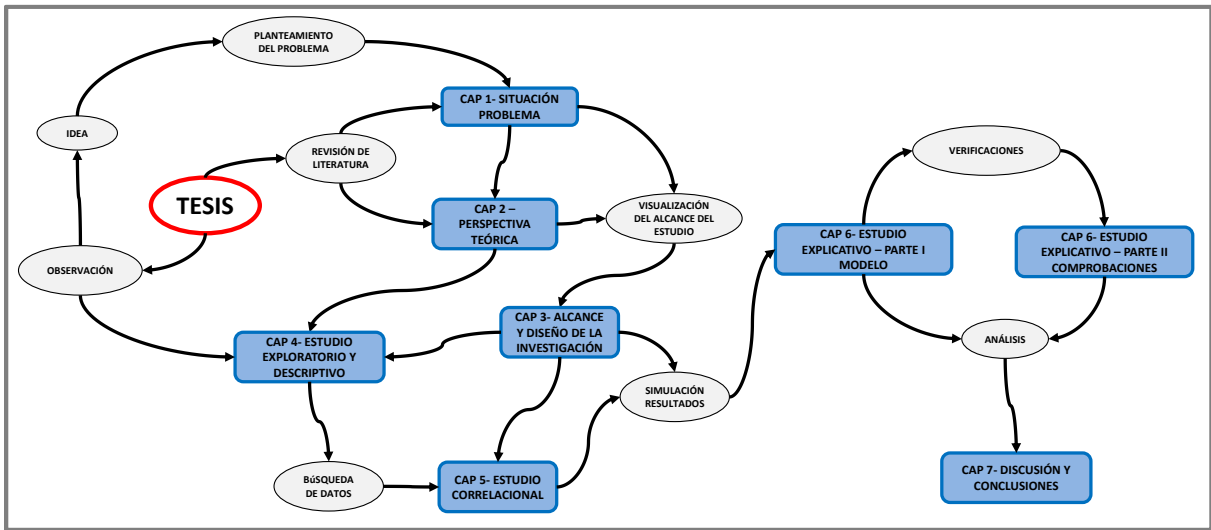


Figura I-1 Mapa mental de estructura de tesis

CAPÍTULO 1

SITUACIÓN PROBLEMA

1 CAPÍTULO - SITUACIÓN PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El bajo rendimiento de los recursos en los proyectos de construcción está relacionado con la respuesta de la SC. Si se observan los antecedentes de los proyectos de construcción (Tapia & Phillpott, 2012) estos tienen un gran impacto en la economía mundial.

Estos proyectos conviven con elevados niveles de desperdicio (retrabajos). Muchas veces terminan fuera de tiempo y sin la calidad (valor) deseada por el cliente. Entre las causas se pueden mencionar: *"... alto nivel de improvisación; ausencia de métodos de mejora continua; falta de planificación, falta de comunicación e información, personal temporario y con escaso nivel de capacitación, cambio en las decisiones de los clientes; falta de aplicación de Análisis e Ingeniería de Valor a los efectos de la eliminación de elementos y actividades redundantes... Por lo tanto, se requiere una coordinación y planificación cada vez más precisa de su SC."* (Tapia & Phillpott, 2012).

El caso específico de los megaproyectos (construcción de aeropuertos, líneas de transporte, incluidos ferrocarriles y autopistas, centrales eléctricas y proyectos aeroespaciales, suelen costar más de 1.000 millones de dólares) son difíciles de gestionar debido a su escala, a los altos niveles de complejidad y a las importantes repercusiones que tienen en las comunidades, el medio ambiente y los gobiernos (Denicol et al., 2020).

Según Peter Hansford "El éxito de los megaproyectos es vital para las economías de todo el mundo. Pero con demasiada frecuencia, no logran satisfacer sus objetivos en los aspectos materiales, a veces con consecuencias sociales y económicas muy graves. Por lo tanto, es de urgente importancia comprender por qué los megaproyectos tienen un rendimiento inferior al esperado y qué hay que hacer para evitar que lo hagan" (Denicol et al., 2020), traducción del autor.

En una investigación reciente (2020) se destacan seis grupos de causas de los bajos rendimientos: (1) Toma de decisiones, (2) Estrategia, gobernanza y adquisiciones, (3) Riesgo e incertidumbre, (4) Liderazgo y equipos capaces, (5) Participación y gestión de los interesados y (6) Integración y coordinación de la SC (Denicol et al., 2020).

En el estudio de Denicol se plantean cinco vías futuras de investigación para mejorar el rendimiento. Estas son: (1) diseñar la arquitectura del sistema; (2) salvar la brecha con la fabricación; (3) construir y liderar colaboraciones; (4) involucrar a las instituciones y comunidades; y (5) descomponer e integrar la cadena de suministro.

Entre las necesidades reales de investigación se hace hincapié en la mejora de la comprensión de las funciones, responsabilidades y capacidades de las organizaciones permanentes y temporales que forman parte de la red logística. Es decir, desde los propietarios hasta los proveedores, como los integradores de metadatos, los orquestadores de la red, los arquitectos de la cadena de suministro, los administradores de la cadena de suministro y los integradores de sistemas (Denicol et al., 2020).

Por lo cual se detecta que la situación problemática es de actualidad y de mucha importancia para los proyectos de construcción. En el siguiente esquema (ver figura 1-1) se observan los problemas detectados en esta cadena por Vrijhoef. Dichos inconvenientes afectan el rendimiento de los recursos y por consiguiente influyen en el rendimiento de los proyectos (Vrijhoef, 2011).

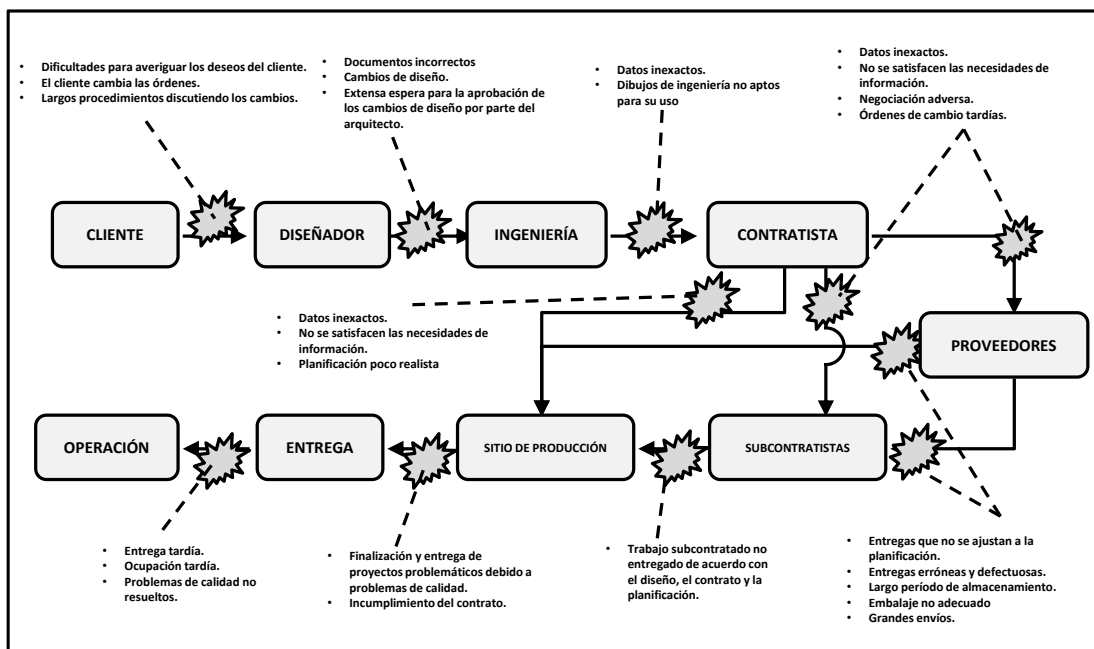


Figura 1- 1 Problemas de la CSC - extraído de (Vrijhoef, 2011)

La situación problema se ha estudiado desde el punto de vista de la empresa principal que ejecuta el proyecto, centrándose el tema mayormente en su organización interna o en el flujo físico de materiales. También se han investigado las relaciones de los integrantes del SC, desde

una mirada social centrada en la confianza y cooperación.

Por otra parte, para mejorar el bajo rendimiento en la restricción triple de los proyectos se han aplicado técnicas como la del PM o el *Lean Thinking*. Pero aún no se ha logrado obtener resultados contundentes y de aplicación ampliada. Muchas veces se estudia un nodo de la red de abastecimiento, cuando en realidad el problema es la respuesta de la red.

En los proyectos que se estudian en este trabajo, la SC tiene la particularidad que varía de un proyecto a otro, en parte o en su totalidad, porque todos los proyectos tienen un producto único y se consideran proyectos con emplazamientos distintos, surgen así un conjunto de incógnitas que se intentarán responder en esta tesis. Para responder estos interrogantes se estudiará el caso de la industria de la construcción en la Región de Cuyo Argentina. Según la Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO, 2018) solo el 27 % de los proyectos terminan con un desvío en plazo menor al 10 %. Además, el 43 % de los proyectos finaliza con un desvío en costo menor al 10 %.

Entre las principales causas de pérdidas en las obras se estima que un 25 % están relacionadas directamente con aspectos logísticos. Del relevamiento de la red de abastecimiento de un caso particular de la zona de Cuyo de Argentina (Tapia & Phillipott, 2012), se destacan las siguientes conclusiones, que dan forma a la situación problemática:

- Se identifican por lo menos cinco tipologías de organizaciones dentro de la red.
- La red se comporta como una “SC fiable” (desarrollada sólo en calidad, y no en los otros aspectos como rapidez, costos, agilidad, etc.).
- Uno de los principales problemas de las organizaciones dentro de la red es la falta de planeamiento estratégico.
- También se observaron problemas de: planificación interna, comunicación, ruptura de flujos de información, inventarios, coordinación interna, recursos humanos no adecuados.

En este mismo trabajo se observa la medición de casos que relacionan el bajo rendimiento de la CSC con el costo y tiempo del proyecto.

1.1.1 Problema Científico

En la actualidad hay falta de evidencia de la existencia de modelos predictivos que relacionen

ambos rendimientos CSC y PM. Generalmente se intenta mejorar esta situación, pero de forma parcial, dentro de un nodo o un reducido grupo de eslabones.

Se detecta la necesidad de hacerlo de una forma global y sistémica, en la red de abastecimientos, para poder otorgarle previsibilidad y disminuir la dispersión de los resultados de los proyectos. Además de proveer una herramienta para la toma de decisiones.

1.1.2 Novedad científica o de investigación (agregar más referencias que indiquen más la novedad de investigación)

La problemática de la falta de rendimiento de los proyectos será abordada desde una perspectiva global, considerando la influencia de su cadena de abastecimiento. Este problema fue estudiado por Vrijhoef (2011), y actualmente se mantiene vigente en la industria de la construcción como se observa en el trabajo de Denicol (2020). Además, la planificación y logística son detectados como causas del bajo rendimiento de los proyectos en los trabajos de la Región de Cuyo de Cantú (2012) y Tapia & Phillipott (2012).

La creación y aplicación de un modelo predictivo basado en el conocimiento con un enfoque sistémico tenderá a dar predictibilidad al comportamiento de los proyectos en relación con el rendimiento de los integrantes de la SC. Si bien hay diferentes investigaciones donde se aplican los modelos predictivos, los mismos tratan de resolver temas específicos como:

- Predecir las características de los contratistas (Al-Zahrani, 2013)
- Mejorar la coordinación (Xue et al., 2005), la colaboración (Lu & Olofsson, 2014), la negociación (Xue et al., 2009) y el flujo de información (Min & Bjornsson, 2008).

En el trabajo de Hatmoko (2010) se investigó la influencia de la SC en los atrasos de los proyectos, basándose en una simulación MonteCarlo. Si bien este estudio es una base importante para esta tesis, el modelo planteado sólo propone atrasos puntuales sobre ciertas actividades. En esta tesis se propone un análisis más amplio considerando los niveles de servicios de los proveedores, para analizar cómo afecta a un proyecto.

A continuación, se aclararán algunos puntos de la novedad científica.

La mayoría de los proyectos medianos y grandes tienen su componente de internacionalización, lo cual lleva a una situación compleja de evaluación y previsibilidad del resultado de los proyectos.

Cada red de abastecimiento (SN) de proyectos trabaja como un sistema vivo que necesita una solución sistémica. Cada componente es un organismo que sufre variaciones debido a causas internas o a su entorno a lo largo del tiempo. Los nodos de la red trabajan casi independientemente unos de los otros. Donde el rendimiento de su red de abastecimiento interna influye directamente en el NS al cliente.

Por lo cual, no es suficiente el estudio global de la red, sino que será necesario un análisis de indicadores de rendimiento de cada uno de los nodos. Estos indicadores deberían ayudar a mejorar la previsibilidad de los resultados y generar información para actuar proactivamente en la gestión de proyectos.

Se deben encontrar indicadores que midan el comportamiento de cada nodo y que al mismo tiempo una vez integrado en la red de abastecimiento conformen indicadores globales para ese proyecto.

Así, por medio de algoritmos se podrá simular el comportamiento de las redes de abastecimiento de proyectos (SNP), lo que permitirá al *Project Manager* plantear distintos escenarios para la toma de decisiones.

Pero la dinámica de estos sistemas no admite realizar un análisis estático de comportamiento, sino que se debe pensar en su evolución en el tiempo. Por ello, este sistema debe tener capacidad de aprendizaje para mejorar el conocimiento del mismo.

Para realizar un proyecto se pueden adoptar distintas redes, que llevarán a resultados distintos. Una vez adoptada una red esta puede cambiar durante el transcurso del proyecto, esta dinámica exige flexibilidad de la solución planteada.

Además, la solución buscada deberá permitir simular la situación de competencia entre redes, lo cual tenderá a aumentar la competitividad y la efectividad de cada nodo y de la red en su conjunto. El planteo del modelo debería considerar el impacto de las TIC en la gestión de esta red.

Por último, es fundamental, tener en cuenta los aspectos productivos básicos, así como los términos de la logística durable (Brun & Guerin, 2014). Cada vez más, los consumidores (en este caso de proyectos), exigen una planificación de cadenas de abastecimiento de mayor eficiencia, con justicia social y respeto al medioambiente.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un modelo predictivo de Redes de Abastecimiento de Proyectos con uso intensivo de recursos y de sitios de producción de ubicación variable, por medio del rendimiento de sus nodos y así predecir el valor de los rendimientos de los Proyectos de Construcción, en la Región de Cuyo Argentina.

El modelo será adaptable a otras regiones del mundo que mantenga una escala y orden de complejidad en la SC comparable a la región del caso de estudio. Se ha previsto la estandarización de KPI.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar un marco analítico a fin de explicar y comprender algunas dinámicas fundamentales de estas cadenas.
- Definir actores y vinculaciones entre los mismos en las cadenas.
- Definir indicadores para medir el rendimiento de estas cadenas.
- Desarrollar el modelo predictivo.
- Verificar la viabilidad del modelo predictivo de SC orientada a proyectos, así como los beneficios que se obtendrían con su aplicación y comparación.
- Proveer con el modelo validado una colección de datos (Data Warehouse / Data Mining) que permita a futuro, contribuir a mejorar la gestión de las redes de abastecimiento orientada a proyectos.

1.3 JUSTIFICACIÓN

¿Por qué es importante dar una solución a esta situación problemática? Este tipo de proyectos tienen un impacto socio-económico significativo en la sociedad. Por lo tanto, si la SN donde se ejecutan estos proyectos no es lo suficientemente eficiente, se tendrán un conjunto de conjunto de recursos mal utilizado.

De la revisión bibliográfica preliminar se observa que existen metodologías de gestión de proyectos que son de uso general para distinto tipo de actividades. Resulta claro que estas

soluciones generales responden bien para los requerimientos de algunas actividades, en tanto que hay otras, como el SC, para las que resulta en un esfuerzo de gestión enorme.

Los CPs presentan problemas, tales como: tiempos improductivos, atrasos, gerenciamiento intuitivo, falencias en las tareas logísticas, entre otros. Siendo uno de los grandes desafíos la integración de los componentes de la SN de la construcción.

Para Greg Howell “la clave es ver la construcción como un flujo y no como un conjunto de tareas independientes, ver un proceso productivo y no solo una secuencia de tareas. Se debe dejar de ser reactivos (adaptativos) para pasar a ser proactivos, es decir pasar de monitorear resultados a realizar acciones para anticiparse a lo que puede suceder” (Alarcon & Maturana, 2008) (traducción del autor).

El concepto de flujo (Kraemer, Henrich, Koskela, & Kagioglou, 2007) considera la producción como un proceso de actividades de valor añadido y no actividades que no agregan valor, tales como: esperar, transporte innecesario e inspección.

Se puede considerar a la logística como una herramienta para alcanzar una ventaja competitiva, mejorar el nivel del servicio al cliente, que exige: calidad, fiabilidad, rapidez, costo adecuado y flexibilidad. (Tapia & Phillipott, 2012)

El sector de la construcción, (Carbonell Ureña, 2012) es uno de los pocos que no ha mejorado su competitividad de forma sustancial. Al contrario, es un sector que suele incrementar sus costes de una manera habitual y continuada.

Como indica Briscoe (Briscoe et al., 2003) la industria de la construcción ha sufrido durante mucho tiempo sobrecostes, retrasos en sus programaciones y una baja productividad. Además, los beneficios de las obras de construcción son frecuentemente desconocidos y extremadamente escasos en comparación con otras industrias.

En *Latham report* (Puybaraud, 2002) se señala “la idea de la competitividad dentro del sector de la construcción y la tendencia a la subcontratación de trabajos y se remarca las actitudes adversas comúnmente existentes entre los contratistas principales y sus proveedores” (traducción del autor).

En *el estudio de Egan* (Murray, 2003) “se critica la industria y se demandan mejoras en términos relacionados con la reducción de costes, tiempos, defectos y accidentes. Todas

estas ideas se han aportado como potenciales mecanismos y aspectos de mejora en las relaciones entre empresas (O'Brien y Fisher, (1993), Naum y Mustapha, (1994), Agapiou et al., (1998), Green y Lenard, (1999), Murray et al., (1999), Reed, (1999)" (traducción del autor).

Por lo cual, es fundamental buscar alternativas para lograr la efectividad, siendo el modelo predictivo de redes de abastecimiento de proyectos una solución posible al problema. Así, tendremos redes: más competitivas, con menores desperdicios, con participación menos discriminatoria de todas las empresas, mejores indicadores de rendimiento socio-económico-ambientales. Desde lo metodológico, constituye una innovación en el PM.

1.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

¿Será posible establecer en qué magnitud y de qué modo un cambio en el rendimiento de la red de abastecimiento de los CPs impactará en los desvíos en costos y plazos de un proyecto?

Ante cambios en la red:

- ¿Reaccionarán todos los proyectos proporcionalmente en la misma magnitud?
- ¿Habrá redes de proyectos más resilientes?
- ¿Por qué y cuáles son los factores críticos de desempeño que identifican a este tipo de proyectos?

CAPÍTULO 2

PERSPECTIVA TEÓRICA

Parte I – Aspectos Generales

2 CAPÍTULO - PERSPECTIVA TEÓRICA –Parte I - Aspectos Generales

El desarrollo de la perspectiva teórica se ha dividido en dos partes:

- **Parte I:** donde se tratan los siguientes temas; proyectos y gestión de proyectos, logística y cadena de suministros, simulación y modelos e industria de la construcción. En esta parte se realizará una recuperación de definiciones y conceptos que se aplicarán en la tesis y facilitará la lectura de quienes no son expertos en las temáticas de referencia. El lector que conoce estos temas puede continuar con los más específicos.
- **Parte II:** donde se tratan los aspectos específicos de la gestión de la cadena de suministro de la construcción y se establece un marco de referencia.

2.1 PROYECTOS Y GESTIÓN DE PROYECTOS

2.1.1 Definiciones

El vocabulario de Gestión de Proyectos de la norma ISO 21500, establece que un proyecto es: *“Un conjunto único de procesos que consiste en actividades coordinadas y controladas con fechas de inicio y fin, llevado a cabo para lograr un objetivo. El logro de los objetivos del proyecto requiere entregables conforme a requerimientos específicos, incluyendo múltiples restricciones como el tiempo, costos y recursos”*(ISO, 2012).

Aunque muchos proyectos pueden ser similares, cada proyecto es único porque: el producto es único, tienen un inicio y un fin definidos, y generalmente se dividen en fases. Deben cumplir según el PM con la restricción triple de alcance (calidad), costo y tiempo.

También, el vocabulario de Gestión de Proyectos de la norma ISO 21500, define como gestión de proyectos a: *“La aplicación de métodos, herramientas, técnicas y competencias a un proyecto. La gestión de proyectos incluye la integración de las distintas fases del ciclo de vida del proyecto. La gestión de proyectos se lleva a cabo a través de procesos”*(ISO, 2012).

2.1.2 Clasificación de proyectos

Hay diferentes criterios para clasificar a los proyectos (Arriola Mairén, 2010) :

- a- **Por su carácter:** económico y social.
- b- **Por su naturaleza:** de instalación (implantación) y operación.

- c- **Por su categoría:** producción de bienes, infraestructura y prestación de servicios.
- d- **Por su tipo:** corresponde a los proyectos específicos dentro de cada categoría (por ejemplo, infraestructura de transporte: carreteras, ferrocarriles, puertos, aeropuertos, etc.)
- e- **Desde el punto de vista económico:** por sectores de producción (agropecuarios, industriales, de construcción, de infraestructura social, etc.).
- f- **Función del sector de la economía en que se realizan:** sector público y sector privado.
- g- **Por su tamaño:** pequeños, mediano y grandes, esta clasificación dependerá del sector económico donde se esté realizando.

2.1.3 Éxito en la gestión de proyectos

De la bibliografía se desprende que el concepto de **éxito de la gestión de proyectos** se refiere al cumplimiento satisfactorio de los objetivos de costo, tiempo y calidad, mientras que **el éxito del proyecto** se refiere a los objetivos finales del mismo, la satisfacción del cliente. También se constató que una buena gestión del proyecto puede contribuir al éxito del mismo, pero es poco probable que pueda evitar su fracaso (Alzahrani & Emsley, 2013).

2.1.4 Madurez en gestión de proyectos

El concepto de madurez del proceso nació en el movimiento de Gestión de Calidad Total. La aplicación de técnicas de control estadístico de procesos (SPC) mostró que mejorar la madurez de cualquier proceso técnico conduce a: la reducción en la variabilidad inherente al proceso y la mejora en el rendimiento medio del proceso (Cooke-Davies & Arzymanow, 2003).

Conceptualmente un modelo de madurez sirve para lograr la madurez de un área específica de una organización. El modelo de madurez de la gestión de proyectos (PMMM), consta de cinco niveles (Kerzner, 2017): Lenguaje Común, Procesos Comunes, Metodología Singular, Benchmarking, Mejora continua.

Algunos de los PMMM que hoy existen son: *Portfolio Programme Project Management Maturity Model (P3M3)*, *Prince2 Maturity Model (P2MM)* y *Organizational Project Management Maturity Model (OPM3)*

2.1.5 Gobernanza en el Project Management (GoPM)

Las organizaciones requieren establecer sus objetivos, determinar los medios para alcanzarlos y supervisar el rendimiento. La gobernanza proporciona la estructura necesaria para ello (Lester, 2014).

La gobernanza de la gestión de proyectos podría definirse como el marco de los requisitos estratégicos generales de la organización patrocinadora dentro de la cual se gestionan los proyectos. El gobierno de un proyecto en particular es un subconjunto específico del gobierno de toda la gestión de proyectos de una organización (Lester, 2014).

2.1.6 Estado del arte del PM

Un estudio muestra que la aplicación de *Project Management Methodology* (PMM) representa una mejora del 22,3 % de la variación en el éxito del proyecto. Pero los PMM aplicados dependen de los contextos de gobernanza (Joslin & Müller, 2015). Por lo cual la gobernanza actúa como un cuasi-moderador de la relación entre el uso de una metodología de gestión y el éxito del proyecto. Estos resultados están en consonancia con lo publicado por PMI en el *Pulse of profesión* (PMI, 2018).

Desde el 2002 aparecen voces críticas a la aplicación tradicional de PMM, lo ponen en duda, y se plantean dos métodos para la gestión de proyectos: *Scrum* y *Last Planner* (Koskela, 2002).

También se afirma que se necesita una transformación paradigmática de la disciplina. La teoría y la práctica deben desarrollarse simultáneamente, de manera similar a otros campos basados en la ciencia, donde la teoría se explica, prueba y refina en un diálogo continuo entre las comunidades científicas y profesionales (Koskela & Howell, 2002).

Con el correr de los años según (Levitt, 2011) se va produciendo una transformación y el Director de proyecto (DP) moderno genera métodos, herramientas y mecanismos de gobernanza para el desarrollo del producto adoptando la filosofía ágil. Además, participa en la toma de decisiones de la organización, debiéndose usar métricas para comprobar si los criterios de éxito del proyecto se cumplen (Kerzner, 2015).

Las nuevas herramientas de gestión de proyecto ponen énfasis en la colaboración y en la inteligencia colectiva (Filev, 2011). Nuevas perspectivas emergen como: agilidad, competencias, la gobernanza y el patrocinador, la tecnología, la sostenibilidad, la innovación,

la asociación y el contexto (Morris, 2013; Pinto & Winch, 2016).

Artículos de los últimos años también critican la filosofía detrás del modelo basado en la ejecución del PMI (enfocada en herramientas y técnicas, como una ciencia preestablecida). Proponiendo la perspectiva del *Management of Projects* (MoP de Peter Morris), con la cual se puede cosechar los beneficios de una investigación más fructífera (Pinto & Winch, 2016).

Los sistemas de PM necesitan nuevas formas de visualización estratégica. El pensamiento sistémico es vital para el éxito de un proyecto (Kerzner, 2017). Las organizaciones más reconocidas a nivel mundial en PM son:

- **Project Management Institute (PMI)**. Fundado en 1969 en Estados Unidos y se usa mayormente en el continente americano.
- **Projects in Controlled Environments (PRINCE)**. Fue creado en 1989 y se usa como estándar especialmente en Reino Unido.
- **International Project Management Association (IPMA)**. Con sede en los Países Bajos, creada en 1965.
- **Association for Project Management (APM)**. Fundada en 1972 en Reino Unido.

Esta tesis se enfoca hacia las nuevas tendencias del PM de mejorar la gobernanza de los proyectos al plantear nuevos modelos predictivos.

2.1.7 Gestión de recursos en PM

A pesar de las críticas existentes, se tomará como referencia las propuestas del PMI para gestionar recursos, ya que es uno de los estándares más utilizado a pesar de sus limitaciones.

Para gestionar los recursos se proponen seis procesos: planificar la gestión de recursos, estimar los recursos de las actividades, adquirir los recursos, desarrollar el equipo, dirigir el equipo, controlar los recursos (PMI, 2017).

Se diferencia entre recursos internos y externos, y entre recursos humanos y recursos físicos (por ejemplo: materiales, equipos y suministros). Además, se propone realizar una estructura de desglose de recursos (ver figura 2-1).

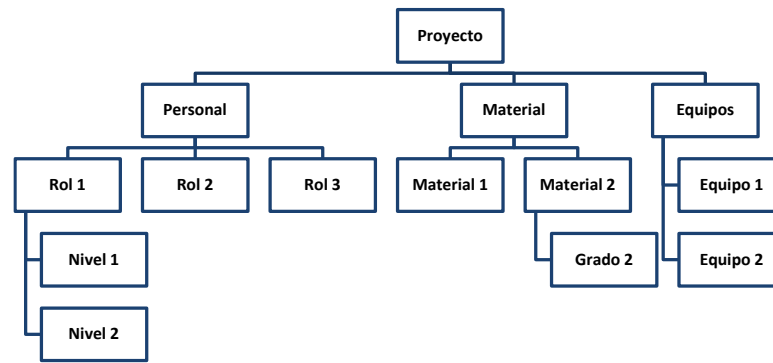


Figura 2 - 1 Estructura de Desglose de Recursos, extraído de (PMI, 2017)

Este estándar propone que los recursos internos se gestionen por medio de préstamos entre las distintas áreas de la organización. Los recursos externos los considera parte de las adquisiciones de los proyectos. Para lo cual se proponen tres procesos: planificar, efectuar y controlar las adquisiciones del proyecto (PMI, 2017).

2.2 LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO

2.2.1 Definiciones

Dentro de la bibliografía existen diferentes definiciones de logística y SC. En este apartado se mencionarán algunas que se consideran importantes para el desarrollo de la tesis.

a- Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing (Wang & Koh, 2010)

La logística: se refiere a la distribución y el movimiento de materiales, componentes, piezas, productos y servicios de un nodo a otro, a lo largo de la SC. La logística podría clasificarse en logística de entrada (gestión de abastecimiento de recursos) y salida (distribución de productos).

La gestión de la cadena de suministro, toma la logística como un subconjunto, que se integra con todos los demás participantes: proveedores, fabricantes, distribuidores, minoristas y clientes en un conjunto para asegurar que toda la SC esté integrada. En una SC, además de gestionar el flujo de materiales, componentes, piezas, productos y servicios, es necesario gestionar el flujo de información/conocimiento, el dinero y el capital intelectual.

Una red de empresa es la base de una **red de suministro**, es un grupo de organizaciones trabajando juntos por un objetivo común. Una red de empresa podría formarse de manera formal o informal. Una red de empresa informal existe en un campo virtual, que se reúne y se

disuelve dependiendo de las alianzas oportunistas (como en la construcción). Una red formalmente estructurada, como un consorcio, proporciona poder de compra para el grupo de organizaciones en la red de la empresa (Wang & Koh, 2010).

A diferencia de un clúster, la formación de una red de empresas puede ser independiente del sector. La maduración de la red permite al proveedor trabajar más estrechamente con el fabricante. Este escenario llevará a diferentes conceptos utilizados como semejantes:

- **Red de suministro:** su formación crea un entorno mutuamente beneficioso con una base de suministro común que permite a las organizaciones abastecerse de manera flexible de los productos o servicios requeridos en la red de suministro.
- **Cadena de valor:** se genera cuando se agrega valor al proceso en esta red de suministro. Esto permite una colaboración aún más estrecha entre los proveedores y los fabricantes y crea un entorno para la innovación.
- **Cadena de suministro integrada:** es cuando la relación entre el proveedor y el fabricante ha alcanzado un punto de madurez adicional. Se crean procesos altamente receptivos y ágiles necesarios para satisfacer la demanda.

b- Logística. Administración de la cadena de suministro (Ballou, 2004)

El Consejo de Dirección de Logística de Estados Unidos de Norteamérica, define Logística como: *“la parte del proceso de la SC que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes y servicios, así como de la información relacionada, desde el punto de origen hasta el punto de consumo, con el fin de satisfacer los requerimientos de los clientes”*. Esta definición agrega que la logística se ocupa del flujo de los servicios, así como de los bienes físicos.

c- Logística I (Gambino, 1999)

“Se entiende como logística al uso racional y sistémico del conjunto de conocimientos, acciones y medios, en cada paso del proceso a lo largo de la cadena de valor, con el objeto de prever y proveer de recursos necesarios que posibiliten, a la organización o conjunto de ellas, realizar una actividad principal en tiempo, en forma y al costo más oportuno, dentro de un marco de productividad y calidad”.

Se destaca esta definición porque habla de recursos en general, y no solo de alguno de ellos. Este autor también define una logística de entrada y de salida como en el libro Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing. Además, agrega la definición de una logística interna que corresponde a la gestión de los recursos internos a la organización. Concepto muy útil en el PM.

2.2.2 Estrategias en Cadenas de suministro

Estrategia *Lean*: se elimina todo tipo de desperdicio (la reducción de inventarios, el tamaño de los lotes, la base de proveedores y la eliminación del papeleo). Christopher afirma que "*lean*" funciona mejor en alto volumen, baja variedad y entornos predecibles (Wang & Koh, 2010).

Estrategia *Ágil*: es la capacidad de respuesta y la capacidad de hacer coincidir la oferta y la demanda en mercados de variedad muy alta. La característica distintiva es que es "sensible al mercado" (Wang & Koh, 2010).

Estrategia de *Leagile*: Situación en la que los plazos de entrega son largos y la demanda es impredecible. En tal situación, la primera prioridad es disminuir los plazos, ya que la variabilidad de la demanda es totalmente incierta y fuera del control de la organización. Sin embargo, si no se puede reducir el tiempo de entrega, entonces la opción siguiente es buscar la creación de una solución híbrida *lean/ágil* (Wang & Koh, 2010).

Estrategia *fiables*: situación en la que se suministra productos de alta complejidad (generalmente únicos, proyectos), que forman parte de un diseño integral, con la calidad y especificaciones requeridas, que cumple los plazos de entrega y ofrece un servicios postventa fiable (Cueto & Romero, 2004).

2.2.3 Logística en números

En el 2004 el FMI (Fondo Monetario Internacional) estimaba que los costos logísticos eran del 12 % del PNB mundial (en USA el 9,9 %). Para las empresas los costos logísticos estaban entre el 4 % al 30 % del volumen de las ventas (Wang & Koh, 2010).

En el 2016 la OCDE estimó que los costos logísticos en América Latina representan entre el 18% y el 35 % del valor de los productos (24,5 % promedio), comparado con un 8 % para los países de la OCDE o 9 % para los Estados Unidos. A nivel macro, los costos logísticos en los

países de la OCDE computan 9 % de su PIB, en tanto que para la región alcanzan entre el 16 % y el 26 % de su PBI. Para Argentina el costo logístico en el 2004 era aproximadamente del 27% (OCDE, 2016).

Costos logísticos en relación con los países y las industrias principales

Se puede decir que "hay una relación directa entre el volumen y el peso de los productos con los costes logísticos". Por lo tanto, en la agricultura, la minería y otras industrias similares, los costos logísticos son más altos que los de las industrias proveedoras de información y servicios. La figura siguiente muestra esta relación (Figura 2-2). También se puede concluir que las inversiones en actividades logísticas en esas industrias podrían dar lugar a ahorros más importantes (Farahani et al., 2009).

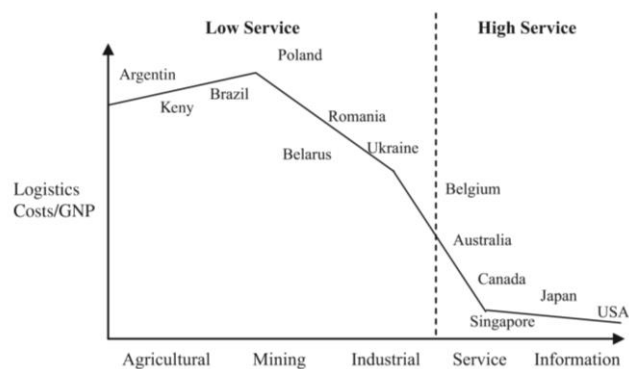


Figura 2 - 2 Logística y actividades económicas, extraído de (Farahani et al., 2009)

2.3 CADENA DE SUMINISTRO EN PROYECTOS

Se presentará un resumen de cómo el concepto de SCM se ha tratado de implementar en la gestión de proyectos. Estos párrafos ponen en relieve las complejidades de la extrapolación de estos conceptos a los proyectos.

“Si bien la mayoría de las contribuciones que involucran las relaciones de la SC en la literatura de gestión y comercialización se refieren a intercambios continuos en las relaciones comprador-proveedor a largo plazo (Claycomb y Frankwick, 2010), existe una falta de investigación sobre intercambios discontinuos en industrias basadas en proyectos como la industria de la construcción (Crespin-Mazet y Ghauri, 2007). Sin embargo, la gestión de las relaciones de la cadena de suministro es especialmente problemática en las industrias basadas en proyectos debido a: la discontinuidad de la demanda de proyectos, la singularidad de cada

proyecto en términos técnicos, financieros y sociopolíticos, y la complejidad de cada proyecto en términos del número de actores involucrados” (Segerstedt & Olofsson, 2010) (traducción del autor).

Un concepto importante para la aplicación del SCM en los proyectos es que no puede entenderse aisladamente de la dinámica sectorial. Las prácticas de gestión están integradas en el contexto y solo pueden estudiarse como tales. También se debe considerar la validez de extraer un “paradigma de producción” de un contexto y luego aplicarlos en otro (Ferne, 2005).

Dentro de la bibliografía se encuentran intentos de integración en la SC en proyectos, pero aún no hay una teoría y práctica consolidada. Eriksson establece que las actividades integradoras y las tecnologías deben ser implementadas junto con las empresas adecuadas (alcance), en el momento adecuado (duración), y con las personas adecuadas en las empresas (profundidad) (Eriksson, 2015a).

Varios autores coinciden que se deben comprender los conceptos del SCM pero que se deben aplicar con el criterio de proyecto. El desafío es lograr formas más eficientes de gestionar los flujos de bienes, servicios e información en toda la SC. El desarrollo de relaciones de trabajo colaborativo con proveedores clave se considera un imperativo independientemente del contexto. Si bien tales condiciones existen con frecuencia en sectores altamente consolidados como el aeroespacial, de ninguna manera prevalecen dentro del sector de la construcción (Ferne, 2005).

La SCM es una de las áreas a considerar para la integración de los proyectos (Kerzner, 2017) Poniendo énfasis en: el diseño de la SC, la planificación estratégica y operacional de actividades, la programación y ejecución los planes de producción, el control y la solución de conflictos y el seguimiento y auditoría de los procesos de producción.

Cuando se habla de IBP, son varios los sectores industriales que trabajan de esta manera. A continuación, se detallará las particularidades de algunos de ellos.

2.3.1 Aeroespacial - Aeronáutica

En estas industrias la mayoría de sus proyectos principales son de desarrollo de producto. Actualmente se gestionan con el *Product Lifecycle Management* (PLM) y por lo general su

ejecución se encuentra inmersa en una SC estable (producción en serie) y que solo tiene la necesidad de ingresar nuevos proveedores cuando el desarrollo incluye elevados componentes de innovación.

Dentro de las industrias ETO a la aeronáutica se la puede clasificar de la siguiente manera: mercado de exigencias tecnológicas altas y demandas variables; pocos compradores y pocos vendedores (de grandes sistemas); oligopolio; arquitectura integral; cadena de suministro jerarquizada (Líderes de Programa: Grandes fabricantes: Proveedores de primer nivel: Proveedores de segundo nivel, proveedores de sistemas y subcontratistas). Se suele subcontratar el 70 % del producto final (subcontratación coyuntural y estructural). Los grandes fabricantes son integradores de sistemas. La calidad es concertada y hay prácticas de reducción de los plazos de entrega (Cueto & Romero, 2004).

“La industria aeroespacial opera a nivel mundial y ha experimentado una consolidación extensa dominada por un pequeño número de jugadores globales. Las empresas aeroespaciales operan dentro de amplias redes de interdependencia global que el trabajo colaborativo se ha convertido en un -imperativo comercial” (Green et al., 2002 apud. Fernie, 2005) (traducción del autor).

Esta industria en el 2004 ya planteaba los conceptos de la estructura evolutiva de la SC con formas alternativas de gobernanza basadas en la teoría de la economía de los costos de transacción (Bales et al., 2004). Además, se consideraba que la confianza era fundamental para una SCM efectiva. Dentro del sector se proporciona asesoramiento y apoyo a proveedores de primer nivel (Fernie, 2005).

En las empresas del sector aeronáutico el volumen de productos demandados es bajo, la variedad de los productos es alta, aunque la velocidad en los cambios tecnológicos es menor que en otros sectores industriales, la complejidad del producto es bastante alta, y el ciclo de vida del producto es también mayor (entre 13 y 20 años). Por lo cual se la define como una cadena fiable (Cueto & Romero, 2004).

La modularidad en el sector es un hecho. En el 2001 en Francia se planteaba: la proximidad geográfica para la producción de los módulos y, por otro lado, una mayor dispersión para la producción de los componentes. Es necesaria una modularidad tecnológica y organizativa, adoptando un modelo organizacional diferente para cada empresa. Por otro lado, cualquier

reducción en el tiempo de entrega va desde el diseño hasta la entrega de producción. De esta manera se establecieron clústeres que se transformaron en los motores de desarrollo de las economías regionales (Frigant & Talbot, 2001).

La tercerización en el sector equivale a una inversión (Monnoyer & Zuliani, 2007). Debido al alto nivel de requisitos para calificar a un proveedor, hay un número muy limitado de empresas autorizadas para proporcionar piezas y servicios en la industria aeronáutica. Esta situación lleva a opciones limitadas al seleccionar un proveedor para un nuevo programa de aeronave (Rodrigues Vieira & Loures, 2016).

En Brasil en el sector aeronáutico el nivel de integración interna es mayor que el de la integración externa (Alfalla-Luque et al., 2013). También una mayor integración del SC beneficiará todas las etapas de producción al facilitar la implementación de PLM y aumentar la calidad y seguridad del sector aeroespacial (Vieira et al., 2016).

2.3.2 Construcción de Barcos

En esta industria se observa la alta fragmentación del SC, una escasa colaboración y frecuentes disputas entre las extensas redes de proveedores y subcontratistas. Para esto en un estudio se ha propuesto definir tres clases de requisitos: cooperación organizacional, reglas y procedimientos y objetivos conjuntos (Aloini et al., 2015).

Otra propuesta es la comparación entre un modelo de “*Soft Systems Approach*” y la práctica real. Se trata de definir el papel de las empresas en la coordinación de las SC, destacando las estructuras e interdependencias de la empresa que conducen a los retrasos de los proyectos (Mello et al., 2017).

2.3.3 Petróleo y Gas

En la industria del OIL & GAS el proyecto se considera como una oportunidad de negocio, los principios del Project Supply Chain Management (PSCM) son: el proyecto como la oportunidad de negocio, la SC como entidad competitiva y la competitividad es a través de la logística y la gestión de la SC, centrada en la alineación de la oferta y la demanda (Asbjørnslett, 2003).

La tecnología, la competencia y la capacidad de los actores de la SC organizados para un proyecto específico es lo que puede hacer que el proyecto esté disponible como una oportunidad de negocio o no. En esta industria se distinguen dos cadenas: la cadena del

proyecto del producto único (es la que interesa en este trabajo para comparar) y el proyecto en la etapa de operación.

La **cadena del producto único** se puede clasificar de la siguiente manera: cadena tirada por la demanda (*demand chain management*), con organización de procesos ágiles y calidad del servicio resiliente. Está formada por una empresa principal y proveedores de bienes y servicios. Altamente dependiente de la tecnología y la innovación (Asbjørnslett, 2003).

2.3.4 Bienes de Capital

Las industrias de bienes de capital (centrales de vapor, líneas de producción, entre otros) son organizaciones *Engineering to Order* (ETO), que ofrecen productos de alto valor, personalizados, con estructura de producto compleja.

Se ha intentado reducir la base de la oferta y avanzar hacia relaciones más colaborativas. Se propuso como mejora el intercambio eficaz de conocimiento e información (Hicks & McGovern, 2000). También se ha planteado el tema de los enfoques ágiles pero hay poca investigación empírica en esta área para confirmar su utilidad en la industria (Gosling & Naim, 2009).

Con el objeto de reducir los tiempos de entrega se plantea una estrategia de adquisiciones multiproyectos. Aun comprando sin las especificaciones definitivas y manteniendo el material en posiciones estratégicas del SC. De esta manera se permite la personalización (flexibilidad). Se logró una reducción de los plazos (Walsh et al., 2000).

2.4 SIMULACIÓN Y MODELOS EN SC

La simulación de la SC implica operar un modelo que la represente adecuadamente. En caso de que sea imposible, demasiado costoso o poco práctico hacerlo en la organización real el SCM se puede llevar a cabo en el modelo simulado (Campuzano & Mula, 2011).

El comportamiento de los procesos de construcción está sujeto a ciertas variables aleatorias. Por ejemplo, el método PERT intenta estimar la incertidumbre que existe en el programa del proyecto, pero con ciertas limitaciones. La simulación ofrece una herramienta que elimina muchas de estas limitaciones.

El método de simulación es esencialmente probabilístico y computacional, y es utilizado en

casos en que existe incertidumbre, junto con la posibilidad de múltiples caminos críticos en el plan del proyecto. Por lo cual es un método muy acorde a la situación de esta investigación (Campuzano & Mula, 2011).

Los pasos para la aplicación de la simulación se pueden resumir en los siguientes (Campuzano & Mula, 2011):

- 1- Desarrollar el modelo del sistema a ser simulado (plan y programa).
- 2- Probar que el modelo representa adecuadamente el problema en estudio.
- 3- Crear programa computacional para ejecutar el modelo.
- 4- Correr la simulación y evaluar resultados.

2.4.1 Modelización

La modelización (Williams, 2011) es el proceso de tomar algunos datos y construir una descripción simplificada de los procesos que podrían haberlos generado. Un modelo captura el conocimiento del problema que se está estudiando y de sus datos, luego lo codifica en algún lenguaje (un programa informático o una fórmula matemática).

La construcción del modelo es un proceso de iteración, donde cada ciclo lleva a un paso más cerca de lograr los resultados deseados. Ningún modelo puede representar perfectamente el mundo real, por lo que su utilización arroja resultados aproximados, con cierto margen de error, generalmente acotado.

En la construcción de un modelo, a menudo la estructura del propio modelo proporciona conocimiento. En particular, se puede aprender sobre las relaciones entre las variables de entrada y las variables objetivo a partir del estudio del modelo.

2.4.2 Análisis predictivo

El objetivo es construir un modelo que pueda predecir la ocurrencia de un evento. Los constructores del modelo extraerán el conocimiento de los datos históricos y lo representarán de tal forma que se pueda aplicar a nuevas situaciones; esto también se conoce como aprendizaje supervisado (Williams, 2011).

Los datos históricos a partir de los cuales se construyen los modelos tienen resultados específicos asignados. Puede haber modelos de clasificación que se utilizan para predecir nuevos valores o modelos de regresión que generalmente predicen un resultado numérico

(Williams, 2011).

2.5 LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN

2.5.1 Definición

Se puede definir a la industria de la construcción como el conjunto de empresas que realizan actividades cuyo producto derivado de su actividad, corresponde a todo o parte de uno de los indicados a continuación: construcción habitacional, construcción no habitacional, construcción industrial y obras civiles. Adicionalmente, están las obras de especialidades, las obras de conservación y las de reparación (Solminihac, 2011). A continuación, se consignan dos conceptos de la industria de la construcción que son importantes, para el desarrollo de la tesis:

“La industria de la construcción puede tipificarse como una IBP con características específicas, como el diseño de localización, la producción única, las coaliciones de producción cambiantes por proyecto, las circunstancias exteriores y ambientales, los múltiples clientes y los múltiples proveedores que participan en un solo proyecto... el entorno de producción es relativamente complejo e inestable... con bajos niveles de eficacia y eficiencia, bajas tasas de innovación e impedimentos para el intercambio de conocimientos y el aprendizaje... el nivel de rendimiento está a la zaga de otros sectores industriales” (Vrijhoef, 2011) (traducción del autor).

“Cada país presenta características especiales relacionadas con su nivel de desarrollo tecnológico, tales como la capacitación de los obreros y profesionales, la idiosincrasia del trabajador, la economía prevaleciente en el país y en la ubicación geográfica donde se lleva a cabo el proyecto, el potencial económico de los posibles clientes, la competitividad entre las empresas constructoras locales e internacionales, las necesidades a nivel nacional de obras...” (Ghio Castillo, 1998) (traducción del autor).

2.5.2 Participantes

La industria de la construcción involucra a diversos grupos de personas u organizaciones. A continuación se presentan los principales grupos y su rol (Solminihac, 2011):

- ✓ **Dueños (mandante-cliente):** son quienes conciben y determinan los objetivos de los proyectos de construcción (según la inversión pública o privada).

- ✓ **Diseñadores:** generalmente son arquitectos, ingenieros y otros especialistas quienes transforman las concepciones de los dueños en proyectos detallados mediante planos y especificaciones.
- ✓ **Constructores (Contratistas y Subcontratistas):** son quienes administran los esfuerzos necesarios con el fin de convertir los diseños en obras físicas. El contratista puede subcontratar a empresas especialistas para determinadas actividades. Una tendencia mundial es que el número de empresas subcontratistas está aumentando y las empresas contratistas se concentran cada vez más en la gestión.
- ✓ **Fuerza de trabajo (Mano de Obra):** está formada por trabajadores, capataces y supervisores.
- ✓ Finalmente, participan otras entidades, tales como: la inspección técnica del mandante, organismos reguladores, los proveedores y los laboratorios de control de calidad, instituciones financieras, entre otros. La fig. 2-3 muestra la forma como se pueden relacionar los distintos agentes del sector de la construcción (Solminihac, 2011).

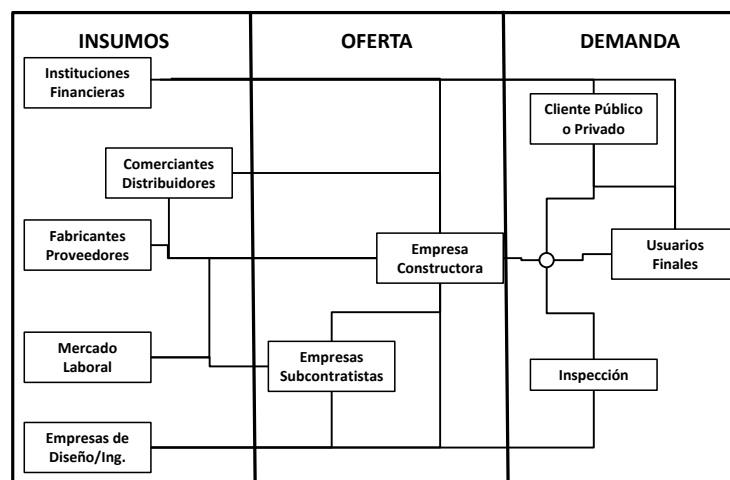


Figura 2 - 3 Interacción entre los agentes en la construcción,
extraído de Solminihac (2011)

En general las empresas de la construcción trabajan en asociaciones por proyectos que finalizan al terminar el proyecto. Los productos construidos pueden tipificarse en montaje a pedido, fabricación a pedido, diseño a pedido o ingeniería a pedido. Por lo cual es un proceso impulsado por la demanda, iniciado por los clientes o los inversores. El diseño muchas veces está disociado de la parte de producción (Vrijhoef, 2011). En la figura 2-4 se muestra un

esquema simplificado de la CSC.

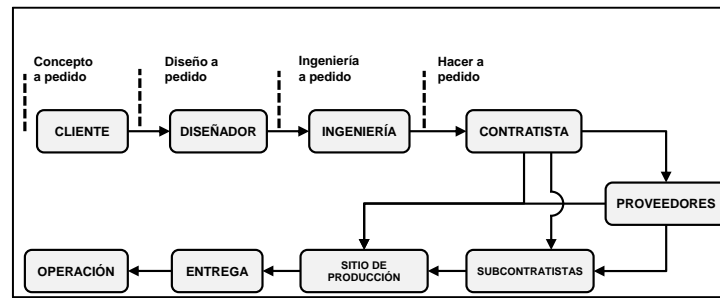


Figura 2 - 4 – CSC distintos tipos de integraciones desde el hacer a pedido hasta el concepto a pedido, adaptado de Vrijhoef (2011)

La industria se caracteriza por un escaso nivel de repetición. Debido a la subcontratación se depende cada día más de la SC. En general en las empresas del rubro la parte de gestión (diseño) y la de producción están desintegradas, es como si coexistieran dos empresas con visiones diferentes (Vrijhoef, 2011). Esta realidad lleva a un conjunto de problemas que se observaron en la figura 1.1 del capítulo 1.

2.5.3 Herramientas de Gestión

Anteriormente se mencionó el uso del **PM** para gestionar los proyectos. Por ejemplo, el PMI tiene su apartado específico de construcción. Pero también hay otras herramientas de gestión que se aplican en el rubro, a saber: *Lean Construction*, *Lean Project Delivery*, *Last Planner*, Cadena Crítica, utilización de tiempos *de buffer*, *Just in time*, *Just in case*, gestión de interesados, *Civil Integrated Management*, entre otras.

2.5.4 Riesgos

El riesgo en la construcción se percibe en general como los acontecimientos que influyen en los objetivos del proyecto en cuanto a costo, tiempo y calidad (Akintoye & MacLeod, 1997). En la figura 2-6 se puede observar una estructura de riesgos en los Proyectos de Construcción (PC), siendo una de las tantas que existe en la bibliografía (El-Sayegh, 2008).

Se evaluarán algunos artículos relacionados con riesgos en la SC. Por ejemplo, en los Emiratos Árabes Unidos, en el ranking de riesgos en tercer y cuarto lugar se encuentran el pobre rendimiento de los subcontratistas y el tiempo de entrega de los materiales por parte de los proveedores. En los puestos séptimo y décimo está la escasez en el suministro y la disponibilidad de mano de obra y materiales (El-Sayegh, 2008).

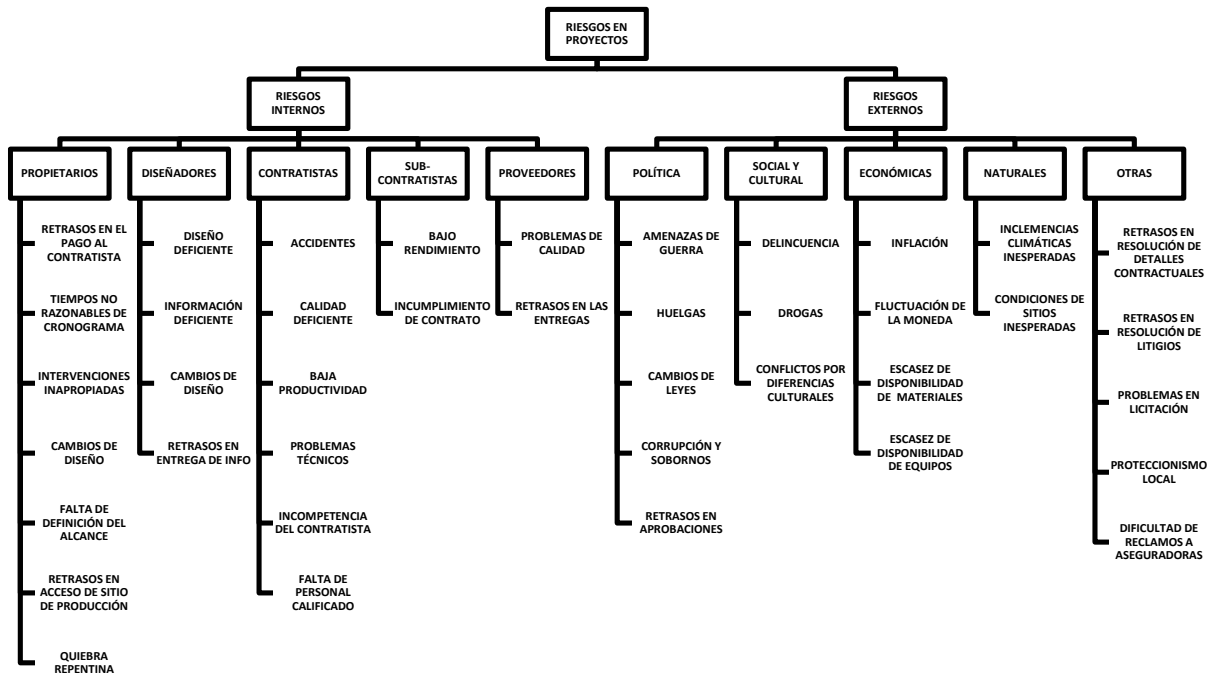


Figura 2 - 5 Estructura de Riesgos, extraído de El-Sayegh (El-Sayegh, 2008)

Del estudio de la realización de proyectos en países en vías de desarrollo se destaca que los mayores riesgos están asociados a los aspectos socio-político-legales y económicos del lugar donde se realiza el proyecto (Aguria et al., 2004).

También se detectan riesgos relacionados con las CSC a: su contexto regional, específicos del proyecto y otros con la provisión de recursos (políticas fiscales, controles políticos, inflación, globalización, acuerdos contractuales, mercado de proveedores, información de diseño, productividad, organizaciones) (Iqbal et al., 2015) (Aguria et al., 2004) (Banaitiene & Banaitis, 2012) (Bing et al., 2005).

De un estudio hecho para la industria de la construcción en Pakistán, dentro de los primeros 10 riesgos detectados se encuentran: los retrasos en los pagos (afectando el flujo financiero y sus consecuencias sobre la SC), la defectuosa programación y mal desempeño por parte del contratista, la mala calidad y escasez o falta de materiales y equipos (Iqbal et al., 2015).

2.5.5 Recursos

En general cuando se planifica no se consideran las restricciones de recursos que pueden existir ni los riesgos asumidos por la incertidumbre de la relación de las actividades. En la

práctica, sin embargo, la ejecución de un proyecto requiere la utilización de varios recursos, cuya disponibilidad normalmente limitada, puede producir un impacto directo sobre la duración del proyecto según (Serpell apud. (Tapia, 2003)).

Por eso, uno de los objetivos más importantes es lograr una eficiente utilización y un buen manejo de los recursos. La idea es desarrollar y utilizar técnicas para el análisis y la programación de estos de manera de optimizar su uso para así mejorar los rendimientos y la calidad según (Molet 1989 apud. (Tapia, 2003)).

Los recursos involucrados en la construcción son: mano de obra, los materiales (asociados a los proveedores de materiales), maquinarias (equipos), recursos financieros (capital de trabajo), información, conocimiento, tiempo, entorno (lugar de emplazamiento).

Otras características que hay que tener en cuenta en relación con los recursos son: almacenamiento, intensidad de uso, complejidad del recurso y prioridad.

Un proyecto podrá ser completado de acuerdo a un cierto plan, siempre y cuando cuente con los recursos necesarios. El análisis que compara estos requerimientos con los recursos realmente disponibles, corresponde al estudio de factibilidad física del plan del proyecto. En la mayoría de los proyectos, los recursos son limitados y, por lo tanto, imponen restricciones en la programación de las actividades. La asignación y análisis eficiente de recursos es entonces una parte esencial de la planificación y determinante en el éxito o fracaso del proyecto. Por lo tanto la logística y el SCM son fundamentales para su gestión (Tapia, 2003).

CAPÍTULO 2

PERSPECTIVA TEÓRICA

Parte II – Aspectos específicos

CAPÍTULO 2 - PERSPECTIVA TEÓRICA – Parte II - Aspectos Específicos

2.6 CADENA DE SUMINISTRO DE CONSTRUCCIÓN (CSC)

2.6.1 Revisión de la literatura

Para analizar el estado del arte de la CSC, se procedió a realizar dos relevamientos de artículos científicos. El período de búsqueda abarca desde el 2000 al 2019. Se recurrió a los buscadores SCOPUS y Google SCHOLAR (Anexo I). La forma de búsqueda fue la siguiente:

SCOPUS: se buscaron solo artículos científicos. El término de referencia utilizado fue “*Construction Supply Chain*”. Se eliminaron todos aquellos artículos que no estaban referidos a la temática específica: pertenecientes a otras industrias o áreas temáticas (matemática, arte, medicina, química, agricultura, psicología, biología). Después de este proceso quedaron disponibles 796 artículos. Posteriormente se realizó un ordenamiento por número de citas. Se aplicó la regla de Pareto y se seleccionaron 170 artículos que son los que se procesaron para comparar.

Google SCHOLAR: El estudio bibliográfico se realizó concentrado en los temas relacionados con SC en la industria de la construcción. Para lo cual en el buscador se realizó las siguientes combinaciones de término de búsqueda (ver tabla 2-1). En la búsqueda se utilizó el filtro de más citados. Se seleccionaron 142 artículos para la comparación.

Conjunto de palabras combinadas para la búsqueda		
supply chain	collaboration	
procurement	risk	
purchase	integration	industry construction
contract	selection	
supplier	agility	
	resilience	

Tabla 2 - 1 – Términos de búsqueda

En las siguientes figuras y tablas se presenta la comparación de los datos generales como: País de filiación de la universidad o centro de investigación (tabla 2-2), temas investigados (tabla 2-2 y 2-3), cantidad de artículos por año, autores más citados y con mayor cantidad de publicaciones (Pareto), revistas o *journals* de publicación (Pareto). Los porcentajes que se muestran son en relación a la composición de cantidad de artículos.

TEMAS	SCOPUS	SCHOLAR	PAÍS DE FILIACIÓN	SCOPUS	SCHOLAR
Tecnología	20,3%	9,3%	UK	27,6%	40,8%
Asociación	12,7%	0,7%	Australia	8,3%	3,9%
Modelo	8,9%	0,7%	China	8,3%	7,8%
Proveedores	8,2%	3,6%	Suecia	7,7%	6,8%
Colaboración	5,1%	12,1%	USA	7,2%	3,9%
Integración	5,1%	10,7%	Canadá	5,0%	---
Riesgos	5,1%	17,9%	Hong Kong	5,0%	2,9%
Revisión bibliográfica	3,8%	4,3%	Corea del Sur	3,3%	---
Alianzas	3,2%	3,6%	Holanda	3,3%	4,9%
CSCM general	3,2%	22,3%	Turquía	3,3%	1,0%
Gobernanza	3,2%	1,4%	Finlandia	2,8%	---
Sustentabilidad	3,2%	---	Irán	2,2%	1,0%
Lean	2,5%	---	Taiwán	2,2%	---
Gestión de compras	1,9%	0,7%	Italia	1,7%	1,9%
Redes Sociales	1,9%	1,4%	Sudáfrica	1,7%	1,9%
ETO	1,3%	1,4%	Francia	1,1%	1,0%
Madurez	1,3%	0,7%	India	1,1%	2,9%
Modularidad	1,3%	0,7%	Malasia	1,1%	2,9%
Reingeniería	1,3%	---	Noruega	1,1%	1,9%
Rendimiento	1,3%	7,1%	Singapur	1,1%	1,9%
Aeroespacial-construcción	0,6%	0,6%	Alemania	0,6%	---
Cadena crítica	0,6%	---	Chile	0,6%	---
Corrupción	0,6%	---	Egipto	0,6%	---
Costos logísticos	0,6%	---	Eslovenia	0,6%	1,0%
Flujo de información	0,6%	0,7%	España	0,6%	4,9%
Innovación	0,6%	---	Nigeria	0,6%	---
JIT	0,6%	---	Polonia	0,6%	1,9%
Mejora	0,6%	---	Portugal	0,6%	---
Servicios Logísticos	0,6%	---	Vietnam	0,6%	---
			Brasil	---	1,0%
			Cuba	---	1,0%
			Nueva Zelanda	---	1,0%
			Colombia	---	1,9%

Tabla 2 - 2 Comparación de Temas y País de Filiación

La muestra de SCHOLAR tiene un sesgo hacia los artículos provenientes de UK 40,8 %. Se puede concluir que los centros de investigación más prolíferos en la temática se encuentran en UK. Con respecto a los temas, hay que destacar que varían según el buscador utilizado, en SCOPUS es el tema tecnológico y la asociación, mientras que en SCHOLAR la CSCM y los riesgos.

Por otro lado, aproximadamente el 25 % de los artículos eran los mismos en las dos búsquedas y que correspondían a los autores más citados. También se realizó el detalle de sus temas asociados a los principales, que a continuación se detallan.

TEMA PRINCIPAL	TEMAS ASOCIADOS
Tecnología	E-commerce, software, RFID, internet, TICs, integración, coordinación, BIM, móvil, flujo de info, cloud computing, simulación, GIS, impresión 3D, realidad virtual
Asociación	Cooperación, confianza
Modelo	Ingeniería concurrente, simulación, basado en agentes, comunicación, sistemas dinámicos, eventos discretos, red social, teoría de juegos, madurez.
Proveedores	Selección, asociación, contratistas, resiliencia
Colaboración	Integración
Integración	Gestión del conocimiento
Riesgos	General, contratos, sustentabilidad
CSCM general	Riesgos, integración
Gobernanza	BIM
Sustentabilidad	Logística inversa
Lean	Ágil
ETO	Coordinación
Rendimiento	Trabajos in situ

Tabla 2 - 3 Temas principales y asociados

Porcentaje de artículos por años (figura 2-7), donde se observa que los más citados se encuentran entre los años 2010 y 2011.

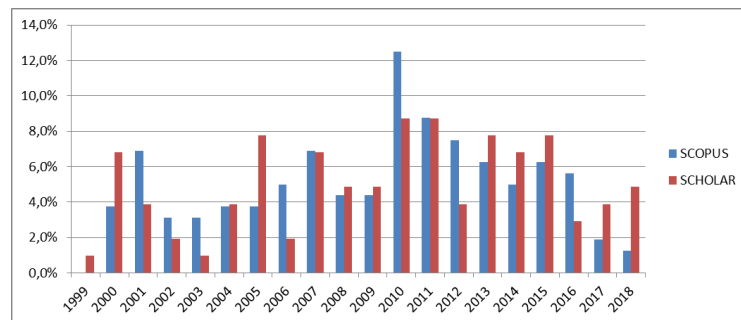


Figura 2 - 6 Comparativa de artículos por año

También se comparó en qué revistas o *journal*, estaban publicados estos artículos. A continuación, se observa los que representan al 80 % de los artículos (tabla 2-4).

REVISTAS O JOURNALS	SCOPUS	SCHOLAR
Journal of Construction Engineering and Management	o	o
Automation in Construction	o	o
Construction Management and Economics	o	o
International Journal of Project Management	o	o
Engineering, Construction and Architectural Management	o	o
Construction Innovation	o	
Journal of Management in Engineering	o	o
Supply Chain Management: An International Journal	o	o
Journal of Civil Engineering and Management	o	
International Journal of Construction Management	o	
Journal of Purchasing & Supply Management		o
European Journal of Purchasing & Supply Management		o

Tabla 2 - 4 Resumen de los sitios de publicación para el 80 % de los artículos

A continuación, se observa la coincidencia de los autores representantes del 80 % de los artículos seleccionados (tabla 2-5).

AUTORES ASOCIADOS	SCOPUS	SCHOLAR	PRINCIPALES TEMAS
Gosling, J., Naim, M.M.	o	o	Revisión bibliográfica, lean/ágil, CSCM, ETO, Riesgos
Eriksson, P.E.	o	o	Compras, colaboración, asociación, integración, proveedores, gobernanza, lean
Vrijhoef, R., Koskela, L., London K.A.	o	o	Revisión, CSCM, integración
Tennant, S., Fernie, S.	o	o	CSCM, aeroespacial vs construction
Meng, X.	o	o	Rendimiento, madurez
Briscoe, G., Dainty, A.R.J.	o	o	Asociación, integración, ETO
Arashpour, M., Wakefield, R.	o		Integración, modelo
Kumaraswamy, M., Palaneeswaran, E.	o		Colaboración, integración, selección de proveedores
Tommelein, I.D.	o		Reingeniería, modelo, simulación
Akintoye, A.	o	o	Colaboración

Tabla 2 - 5 Autores y temas principales

También se realizó un cuadro resumen de los temas y los autores que han publicado (tabla 2-6).

TEMAS	Sub-temas	AUTORES
Tecnología	Integración	Shen, W., Hao, Q., Mak, H., Neelamkavil, J., Xie, H., Dickinson, J., Thomas, R., Pardasani, A., Xue, H.; Adriaanse, A., Voordijk, H., Dewulf, G.; Hadaya, P., Pellerin, R.
	BIM	Irizarry, J., Karan, E.P., Jalaei, F.; Oraee, M., Hosseini, M.R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., Arashpour, M.; Teo, T.-A., Cho, K.-H.; Du, J., Zou, Z., Shi, Y., Zhao, D.; Lu, W., Olofsson, T.; Li, C.Z., Xue, F., Li, X., Hong, J., Shen, G.Q.
	RFID	Wang, L.-C., Lin, Y.-C., Lin, P.H.; Ergen, E., Akinci, B., Sacks, R.; Demiralp, G., Guven, G., Ergen, E.; Majrouhi Sardroud, J.; Lee, J.H., Song, J.H., Oh, K.S., Gu, N.; Hinkka, V., Tätilä, J.; Li, N., Becerik-Gerber, B.; Ikonen, J., Knutas, A., Hämmäläinen, H., Ihonen, M., Porrás, J., Kallonen, T.
	Internet	Xue, X., Wang, Y., Shen, Q., Yu, X.
	Software	Cheng, J.C.P., Law, K.H., Bjornsson, H., Jones, A., Sriram, R.; Ala-Risku, T., Kärkkäinen, M.
	E-procurement	Grilo, A., Jardim-Goncalves, R.; Kong, C.W., Li, H., Love, P.E.D.; Ibem, E.O., Laryea, S.
	Móvil	Chen, Y., Kamara, J.M.; Kim, C., Park, T., Lim, H., Kim, H.
	Cloud computing	Chong, H.-Y., Wong, J.S., Wang, X.
	TIC's	Cutting-Decelle, A.-F., Young, B.I., Das, B.P., Case, K., Rahimifard, S., Anumba, C.J., Bouchlaghem, D.M.
	Impresión 3D	Kothman, I., Faber, N.
Asociación		Dainty, A.R.J., Briscoe, G.H., Millett, S.J.; Cheng, E.W.L., Li, H.; Tang, W., Duffield, C.F., Young, D.M.; Bygballe, L.E., Jahre, M., Swärd, A.; Briscoe, G., Dainty, A.R.J., Millett, S.; Gadde, L.-E., Dubois, A.; Laan, A., Noorderhaven, N., Voordijk, H., Dewulf, G.; Davis, P., Love, P.; Eriksson, P.E., Nilsson, T., Atkin, B.; Eriksson, P.E., Pesämaa, O.; Matthews, J., Pellew, L., Phua, F., Rowlinson, S.; Lönngren, H.-M., Rosenkranz, C., Kolbe, H.; Mason, J.R.; Bresnen, M.; Crespín-Mazet, F., Portier, P.
Gobernanza		Eriksson, P.E.; Pryke, S.D.; Rezgui, Y., Beach, T., Rana, O.; Lu, P., Guo, S., Qian, L., He, P., Xu, X.; Zhang, S., Zhang, S., Gao, Y., Ding, X.
	Cooperación	Eriksson, P.E., Atkin, B., Nilsson, T.

	Integración	Xie, C., Wu, D., Luo, J., Hu, X.
	Joint ventures	Famakin, I.O., Aje, I.O., Ogunsemi, D.R.
Modelo		Nasirzadeh, F., Khanzadi, M., Rezaie, M.; Arashpour, M., Wakefield, R., Abbasi, B., Lee, E.W.M., Minas, J.
	Red social	Capó-Vicedo, J., Mula, J., Capó, J.
	Ingeniería concurrente	Khalfan, M.M.A., Anumba, C.J., Siemieniuch, C.E., Sinclair, M.A.
	Agentes	Xue, X., Li, X., Shen, Q., Wang, Y.; Osman, H.; Unsal, H.I., Taylor, J.E.; Min, J.U., Bjornsson, H.C.; Lee, J., Bernold, L.E.
	Simulación	Walsh, K.D., Hershauer, J.C., Tommelein, I.D., Walsh, T.A.; Polat, G., Arditi, D., Mungen, U.
	Confianza	Jiang, W., Lu, Y., Le, Y.
	Sistemas dinámicos y eventos discretos	Lee, S., Han, S., Pea-Mora, F.
	Madurez	Bemelmans, J., Voordijk, H., Vos, B., Buter, J.
Proveedores		Song, L., Mohamed, Y., Abourizk, S.M.; Lam, K.-C., Tao, R., Lam, M.C.-K.;
	Selección	Arslan, G., Kivrak, S., Birgonul, M.T., Dikmen, I.; Hartmann, A., Caerteling, J.; Pesämaa, O., Eriksson, P.E., Hair, J.F.; Safa, M., Shahi, A., Haas, C.T., Hipel, K.W.; Kumaraswamy, M., Palaneeswaran, E., Humphreys, P.; Håkansson, H., Ingemansson, M.; Eom, C.S.J., Yun, S.H., Paek, J.H.; Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y., Wang, X.; Maturana, S., Alarcón, L.F., Gazmuri, P., Vrsalovic, M.; Ho, C., Nguyen, P.-M., Shu, M.-H.
	Selección resiliente	Wang, T.-K., Zhang, Q., Chong, H.-Y., Wang, X.;
Colaboración		Akintoye, A., McIntosh, G., Fitzgerald, E.; Eriksson, P.E.; Fulford, R., Standing, C.; Humphreys, P., Matthews, J., Kumaraswamy, M.; Pauget, B., Wald, A.; Soetanto, R., Proverbs, D.G., Holt, G.D.; Manu, E., Ankrah, N., Chinyio, E., Proverbs, D.; Suprpto, M., Bakker, H.L.M., Mooi, H.G., Moree, W.
Integración		Briscoe, G., Dainty, A.; Briscoe, G.H., Dainty, A.R.J., Millett, S.J., Neale, R.H.; Palaneeswaran, E., Kumaraswamy, M., Rahman, M.M., Ng, T.; Eriksson, P.E.; Arashpour, M., Wakefield, R., Blismas, N., Minas, J.; Khalfan, M.A., Kashyap, M., Li, X., Abbott, C.; London, K., Singh, V.
	Gestión del conocimiento	Khalfan, M.A., Kashyap, M., Li, X., Abbott, C.
Riesgos		Tah, J.H.M., Carr, V.; Jafari, M., Rezaeenour, J., Mahdavi Mazdeh, M., Hooshmandi, A.; Loosemore, M., McCarthy, C.S.; Artto, K., Eloranta, K., Kujala, J.; Gosling, J., Naim, M., Towill, D.; Arashpour, M., Abbasi, B., Arashpour, M., Reza Hosseini, M., Yang, R.
	Contratos	Chan, D.W.M., Chan, A.P.C., Lam, P.T.I., Yeung, J.F.Y., Chan, J.H.L.;
	Sustentable	Zou, P.X.W., Couani, P.
Revisión bibliográfica		
	CSCM	Gosling, J., Naim, M.M.; Saad, M., Jones, M., James, P.; London, K.A., Kenley, R.; Behera, P., Mohanty, R.P., Prakash, A.
	Integración	Kamal, M.M., Irani, Z.
	Riesgos	Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., Ponticelli, S.
Alianzas		Cheng, E.W.L., Li, H., Love, P.E.D., Irani, Z.; Jefferies, M., Brewer, G.J., Gajendran, T.; Rezgui, Y., Miles, J.; Proverbs, D.G., Holt, G.D.; Harper, D.G., Bernold, L.E.
CSCM general		Vrijhoef, R., Koskela, L.; Yeo, K.T., Ning, J.H.; Fernie, S., Thorpe, A.; Hong-Minh, S.M., Barker, R., Naim, M.M.; Barker, R., Hong-Minh, S., Naim, M.M.
Sustentabilidad		Wong, J.K.W., Chan, J.K.S., Wadu, M.J.; Adetunji, I., Price, A.D.F., Fleming, P.; Whang, S.-W., Kim, S.; Bassi, A., Howard, R., Geneletti, D., Ferrari, S.
	Logística inversa	Shakantu, W., Muya, M., Tookey, J., Bowen, P.
Lean		Fearne, A., Fowler, N.; Fearne, A., Fowler, N.; Eriksson, P.E.; Winch, G.M.
	Ágil	Naim, M., Barlow, J.;

Gestión de compras	Eriksson, P.E., Westerberg, M.; Ruparathna, R., Hewage, K.
Redes Sociales	Loosemore, M.; Ling, F.Y.Y., Li, S.; Badi, S., Wang, L., Pryke, S.
ETO	Gosling, J., Towill, D.R., Naim, M.M., Dainty, A.R.J.
Coordinación	Mello, M.H., Strandhagen, J.O., Alfnes, E.
Madurez	Meng, X., Sun, M., Jones, M.;
Modularidad	Doran, D., Giannakis, M.; Pero, M., Stößlein, M., Cigolini, R.
Reingeniería	Arbulu, R.J., Tommelein, I.D., Walsh, K.D., Hershauer, J.C.; Childerkouse, P., Lewis, J., Naim, M., Towill, D.R.
Rendimiento	Meng, X.; Naoum, S.G.
Aeroespacial-construcción	Green, S.D., Fernie, S., Weller, S.
Cadena crítica	Yeo, K.T., Ning, J.H.
Corrupción	Bowen, P.A., Edwards, P.J., Cattell, K.
Costos logísticos	Fang, Y., Ng, S.T.
Flujo de información	Edum-Fotwe, F.T., Thorpe, A., McCaffer, R.
Innovación	Dulaimi, M., Khalfan, M.M.A., Mcdermott, P.
JIT	Polat, G., Arditi, D.
Mejora	Titus, S., Bröchner, J.
Servicios Logísticos	Sobotka, A., Czarnigowska, A.

Tabla 2 - 6 – Temas – subtemas y autores

Debido a los sesgos que puede presentar el relevamiento con respecto a los años de publicación, se llevó a cabo un estudio diferenciado para los artículos entre el año 2015 y 2019. Además, se realizó una búsqueda específica para encontrar publicaciones sobre modelos aplicados a la CSCM (de la base de datos Scopus, términos de referencia CSC, modelos, inteligencia artificial). A continuación, se realiza un resumen del estado del arte ordenado por temas que aportan a la investigación y referenciando a los autores más representativos.

2.6.2 Construction Supply Chain Management (CSCM)

La CSC tiene una gran cantidad de problemas e ineficiencias. La mayoría de ellos se producen en una etapa de la CSC distinta a la que se detectó. Estas son causadas en gran medida por un control obsoleto y miope de la CSC (Vrijhoef & Koskela, 2005). Según el artículo más citado de la CSC (año 2000) hay cuatro funciones de la cadena, que se sintetizan en el gráfico siguiente (Vrijhoef & Koskela, 2000). El análisis se centra en dónde se producen las transacciones, en relación con el sitio de producción (figura 2 – 8).

En la construcción, la organización de la producción y de las SC está fuertemente orientada a la convergencia de la logística a un sitio particular, una organización temporaria y a la entrega

del producto único, personalizado y de capital intensivo, a un solo cliente final lo que origina un conjunto de relaciones casuales (Vrijhoef, 2011).

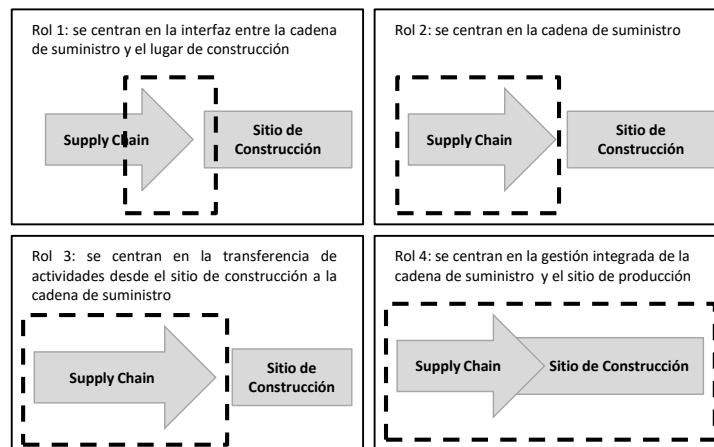


Figura 2 - 7 Cuatro funciones de la CSCM que integran el suministro de materiales y el sitio de construcción. Extraído de Vrijhoef & Koskela (Vrijhoef & Koskela, 2000)

La SC del sector ha pasado por procesos de internacionalización y/o especialización de sus unidades productivas, siendo tendencia la de convertir sus cadenas productivas en auténticas "cadenas virtuales", en las que se incluyan los proveedores y subcontratistas como parte de las mismas (Ferne, 2005).

Un argumento común es que SCM es difícil de implementar en la construcción porque el sector está muy fragmentado (Carbonell Ureña, 2012). Las "barreras para la implementación" identificadas incluyen: cultura en el lugar de trabajo, falta de compromiso de gestión, estructuras de apoyo inapropiadas y falta de conocimiento de la filosofía SCM. La aplicación del SCM a la construcción debe ser personalizada para adaptarse a diferentes circunstancias (Ferne, 2005) (Akintoye et al., 2000) (Mohammad Hasanzadeh et al., 2014).

Sin embargo, la SCM está todavía en sus inicios en la industria de la construcción y no se ha acordado cómo aplicarla (Thunberg, 2013). Según Eriksson (Eriksson, 2015b) faltan marcos conceptuales y prácticas integrales que permitan una comprensión detallada y sistémica de la integración de socios en las SC basadas en proyectos.

En la bibliografía relevada se han identificado múltiples propuestas y opiniones sobre la SC del sector, que a continuación se detallan.

Gosling realizó un trabajo sobre qué principios y tácticas de gestión de la SC deben ser

adoptadas o adaptadas para las industrias de ETO, tales como la construcción, se llegó a la conclusión de que los principios de FORRIDGE se aplican a una amplia gama de tipos de SC, pero el alcance y la criticidad varía. Por lo cual la aplicación debe ser adaptada, planteando una metodología (Gosling, Towill, et al., 2015). En otro de sus estudios estableció que en la construcción son aplicables más los principios ágiles que lean (Gosling et al., 2007). Considerar solo una categoría ETO es demasiado amplia y se proponen ocho subcategorías, que se utilizan para resaltar la necesidad de caminos de adquisición apropiados (Gosling et al., 2011). Además es posible reorganizar las SC para lograr la flexibilidad apropiada (Gosling et al., 2013b).

En general se coincide que en la planificación de la SC se deben incluir en forma temprana a los proveedores (Thunberg & Fredriksson, 2015). Otras contribuciones incluyen la sugerencia de cómo organizar la planificación (Thunberg et al., 2016).

Con respecto a los problemas in situ (sitio de producción) se pueden clasificar en: flujo de materiales, comunicación interna, comunicación externa y complejidad. La primera categoría tiene su origen en la SC, la segunda en el proceso del proyecto de construcción, la tercera en la intersección de la SC-proceso de construcción en el sitio y la cuarta en el proyecto de construcción en su conjunto (Thunberg et al., 2017).

Con respecto a la aplicación de los conceptos de SCM hay diferentes opiniones. Por ejemplo, generar marcos de referencia (Ferne et al., 2000) y la aplicación de una agenda sólida, pertinente y sostenible (Ferne & Thorpe, 2007). En UK se evidenció la no adopción del SCM, además se cuestionó y se debatió si los supuestos de SCM debían ser adoptados por las organizaciones de la industria de la construcción (Ferne & Tennant, 2013).

Además, hay autores que sostienen que en la construcción, cada tipología de SCM tiene un papel distintivo, cada relación tiene una característica económica y social única, y cada mecanismo regulador tiene una contribución transaccional a realizar en la contratación eficiente y efectiva de bienes y servicios (Tennant & Ferne, 2014). Estos autores también invitan a desafiar la evaluación general y en gran parte casual de la SCM para centrar la atención en estrategias de SC discretas que se adapten mejor a las necesidades organizativas y de proyecto.

Por otro lado, Vrijhoef propone la integración de actividades y procesos empresariales, cooperación estratégica, intercambio de información y conocimiento y promover una cultura

colaborativa (Vrijhoef, 2011), pero solo es un planteo teórico sin llegar a la práctica.

En cuanto al aprendizaje, en las cadenas de esta industria en el UK se observa que las organizaciones de la CSC emplean rutinariamente estrategias de aprendizaje que se describen reaccionarias e intervencionistas (Tennant & Fernie, 2013).

Como se mencionó anteriormente, la subcontratación se ha convertido en algo común con lo que aparecen prácticas desleales (Humphreys et al., 2003). Coincidente con esta afirmación se traslada parte del riesgo del contratista principal al subcontratista. Pero la subcontratación ha significado, en muchos casos, la ejecución in situ sin coordinación. La calidad y el tiempo tienen un rendimiento decepcionante, traduciéndose con frecuencia en relaciones de confrontación entre los contratistas principales y sus subcontratistas (Maturana et al., 2007).

El mayor nivel de exigencia por parte de clientes e interesados implica la necesidad de crear una SC para cada proyecto, son importante dos factores: los flujos de información y la tecnología asociada (Cueto & Romero, 2004).

En el año 2012, el sector de la construcción experimentó grandes cambios y para acompañarlos se proponía la necesidad de un modelo de integración de la SCM basado en las alianzas entre compañías y en el servicio al cliente (Carbonell Ureña, 2012).

También, se destacan los beneficios de la participación temprana de proveedores. Sin embargo, debido a las interdependencias entre alcance y la duración, es importante involucrar a los proveedores adecuados en el momento adecuado y en las zonas correctas con el fin de mejorar la asignación de recursos (Carbonell Ureña, 2012).

Con respecto al contexto regional se encuentran algunos estudios en Sudamérica. Por ejemplo, el estudio de los problemas existentes en el lugar de emplazamiento del proyecto, relacionados con: control y manejo de los inventarios, deficiente almacenamiento, y carencia de sistemas de información (Arce Manrique, 2009).

En Perú se ha estudiado la relación entre la gestión logística y su influencia en el valor ganado. Se concluye que una buena gestión logística está asociada al resultado positivo del valor ganado (Avila Ramírez, 2017).

A continuación, se desarrollarán diferentes temas de la CSCM que afectan el rendimiento de los proyectos de construcción.

2.6.2.1 Asociación – Colaboración - Integración

- **Asociación**

Este concepto ha sido estudiado en la bibliografía como una de las principales soluciones a los problemas del CSCM. La asociación es un compromiso entre dos o más partes en el que se desarrolla un entendimiento y una confianza compartidos para el beneficio de mejorar la construcción (Bygballe et al., 2010).

En el 2001 se ponían de manifiesto las preocupaciones de los subcontratistas que apuntaban a la desconfianza y el escepticismo en las relaciones existentes en la SC. Se propuso que los clientes líderes asumieran la responsabilidad de generar el cambio de actitud en sus redes de proveedores para lograr una mejora del rendimiento en el sector (Dainty et al., 2001).

Como parte de la asociación, las relaciones interinstitucionales entre actores de la red pueden conducir a oportunidades de aprendizaje, reducir costos de supervisión y un menor riesgo de fracaso. Estas redes facilitan el flujo de información, reducen el riesgo de incertidumbre y garantizan un mejor rendimiento. En la industria de la construcción, los contratistas principales tienden a utilizar los mismos subcontratistas de distintos proyectos con una colaboración fuerte y repetida (Sedita & Apa, 2015).

En general, los clientes desde su forma de contratación no incentivan la asociación y las barreras más críticas son las atribuibles a los aspectos culturales y organizativos (Eriksson et al., 2008). Se considera necesario reevaluar sus procedimientos de adquisición y adaptarlos a las diferentes situaciones de los proyectos, asociados a una perspectiva a largo plazo (Eriksson et al., 2009).

Una de las partes de la SC a gestionar es la del diseño. El mejor rendimiento (relación calidad-precio) se puede lograr mediante la integración del trabajo en equipo para la planificación, diseño y ejecución de proyectos de construcción. Hay dos posturas: una de un proceso de integración y evolución y la otra apunta a un cambio en las relaciones contractuales. Siendo la relación contractual la que mayores beneficios trae en la eficiencia de la influencia del equipo.

Los procesos de contratación tradicionales refuerzan las barreras socio-cognitivas que dificultan la eficiencia del equipo (Forgues & Koskela, 2008). En la contratación debe haber un cambio cultural y de actitud pasando a relaciones de cooperación y de colaboración (Ozorhon

et al., 2007). Los mejores resultados se obtienen con los contratos de colaboración con incentivos (Suprpto et al., 2015).

Los contratos EPC (*engineer-procure-construct*) se pueden analizar a través de la aplicación conjunta de SCM y CCPM. Desde lo cultural, la propuesta gira en torno a la gestión de la asociación y de relaciones de confianza con los interesados en el proyecto. La utilización de las tecnologías de la información y la comunicación, especialmente Internet y el comercio electrónico debe ser explotada para proyectos de colaboración (Ning & Yeo, 2002).

Estos contratos también tienen su influencia en la SC, desde el punto de vista de la asociación de partes. A través de un modelo conceptual (China) se revela que la asociación puede ejercer su influencia en la gestión de riesgos a través de una mayor capacidad de organización, mejorando así el rendimiento del proyecto (L. Du et al., 2015).

Los aspectos sociales como el liderazgo y la confianza son importantes para la implementación exitosa de *partnering* en la SC (Sedita & Apa, 2015; Venselaar et al., 2015). La calidad del trabajo en equipo, se logra a través de la eficacia de tres factores: actitudes relacionales, prácticas de colaboración y la capacidad de los integrantes del equipo para mejorar el desempeño del proyecto (Suprpto et al., 2015).

Los instrumentos básicos de colaboración con los subcontratistas son: objetivos conjuntos, talleres de seguimiento, formación de equipos y técnicas de resolución de conflictos, participación temprana de los contratistas en la ingeniería concurrente, selección conjunta y participación de los subcontratistas en amplios equipos de colaboración, cláusulas contractuales de colaboración, incentivos basados en el desempeño del grupo, y mayor atención al autocontrol de los contratistas (Eriksson, 2015a).

Otro tema importante a tratar en la asociación es la **confianza** que se relaciona con el riesgo, el control y el rendimiento. Las condiciones y expectativas iniciales pueden conducir a ciclos positivos de aumento de la confianza o, por el contrario, a ciclos negativos de disminución de la misma. La confianza virtuosa no se desarrolla automáticamente, en particular en la industria de la construcción, que tiene una historia de relaciones adversas entre clientes y contratistas (Davis & Love, 2011; Laan et al., 2011; Manu et al., 2015).

Se define un modelo de madurez para medir y mejorar las relaciones entre los asociados,

donde se deben evaluar los siguientes criterios: gestión de compras, objetivos, confianza, colaboración, comunicación, solución de problemas, asignación de riesgos, mejora continua. La madurez lleva a reducir los costos de los conflictos (Meng, 2010a; Meng et al., 2011).

- **Colaboración**

En el UK los acuerdos de asociación y colaboración crecieron de manera considerable después de los Diana informes Latham (1994) y Egan (1998). Los contratistas identificaron la mejora de la planificación de la producción y las compras como objetivos clave para la aplicación de la SCM en la construcción (Akintoye et al., 2000). Además, posteriormente se han hecho muchos esfuerzos por mejorar las relaciones de colaboración y su medición. Para ello se desarrolló un marco de evaluación que consiste en: criterios de evaluación, niveles de relación, descripciones detalladas y procedimientos de evaluación (Meng, 2010a).

Pero no se ha encontrado evidencia empírica de que las actitudes relacionales lleven a una colaboración exitosa sin una intervención gerencial cotidiana en el trabajo en equipo (Suprpto et al., 2015). Además el deterioro de la relación entre las partes del proyecto puede aumentar la probabilidad de un mal desempeño y la adopción de la colaboración en la SC ayuda a resolver los problemas de rendimiento (Meng, 2010b).

Tanto estudios de redes sociales en Italia (Sedita & Apa, 2015) como estudios de contratos de EPC en China (L. Du et al., 2015) revelan que la asociación puede facilitar la capacidad organizativa, la gestión de riesgos y la obtención de contratos públicos, logrando una mejora del rendimiento del proyecto.

Dentro de los aspectos de colaboración e integración de la SC a tener en cuenta están los aspectos sociales como liderazgo y confianza, en las relaciones interorganizacionales y la gestión del conocimiento (Capó Vicedo et al., 2005).

Del estudio de Eriksson se observa que solo la parte de la colaboración (de los conceptos *lean*) es la que se ha aplicado para mejorar el rendimiento de la SC (Eriksson, 2010). En cambio, en los Países Bajos se aconseja la proactividad en las relaciones cliente proveedor (Bemelmans et al., 2012). En las *joint ventures* los factores a manejar son: las diferencias culturales, la eficacia y el control de conflictos (Ozorhon et al., 2007).

Los procedimientos de adquisición con cooperación pueden servir como base para la

exploración y la explotación de los conocimientos y tecnologías en los PC (Eriksson, 2013). Pero en la industria de la construcción es difícil crear una red de organizaciones que confíen y tengan valores compartidos (Fulford & Standing, 2014). En el caso de las redes de proyectos grandes y complejos se debe lograr la colaboración de organizaciones y personas heterogéneas. Por lo cual las competencias relacionales es un activo esencial que asociado al análisis de redes, contribuye a una mejor comprensión del funcionamiento de las redes de proyectos (Pauget & Wald, 2013).

- **Integración**

El gran número de participantes en la CSC y el nivel de fragmentación limitan el alcance de la integración (Briscoe & Dainty, 2005). Los modelos tradicionales enfatizan la integración de actividades que están sujetas principalmente a interdependencias secuenciales (utilización conjunta de recursos, reciprocidad, sincronización), mientras que el patrón de interdependencia es muy diferente en la construcción no respetando estas interdependencias de tareas (Bankvall et al., 2010).

Otros autores proponen un modelo de integración de la gestión de la SC basado en las alianzas entre compañías y en la gestión con el cliente (Carbonell Ureña, 2012; Jefferies et al., 2014) considerando los conceptos de Eriksson de fuerza, alcance, duración y profundidad de la integración (Eriksson, 2015a).

La utilización de una herramienta como *Building Information Modelling* (BIM) puede llevar a la integración de la información de diseño en un entorno holístico, colaborativo y creativo. Se deben explorar los modelos de experiencia y competencia compartidas y de mentalidad de equipo como requisito para la colaboración en BIM (London & Singh, 2013).

Se ha demostrado que los clientes son los principales impulsores de la mejora del rendimiento y la innovación. Además, son el factor más importante para lograr la integración en la SC (Briscoe et al., 2003). Pero se necesita reforzar la forma relacional, para complementar los vínculos contractuales (Palaneeswaran et al., 2003).

Otros conceptos a considerar: la gestión del conocimiento (estratégico, de los proyectos, de la SC) ayudaría a la integración de la CSC y, por lo tanto, mejoraría el rendimiento de los proyectos (Khalfan et al., 2010); la toma de decisiones en la integración de los procesos de las

redes de construcción *off-site* (Arashpour et al., 2015).

2.6.2.2 Selección de Proveedores

Se afirma que las metodologías y decisiones de selección son fundamentales en los sistemas de adquisiciones. Por lo cual, el establecimiento de SC sinérgicas con enfoque holístico y la optimización de la selección de proveedores desempeñan un papel importante en el éxito general de cualquier PC. El objetivo es encontrar los mejores proveedores cuyo rendimiento satisfaga mejor los requisitos de los clientes (Kumaraswamy et al., 2000) (Palaneeswaran et al., 2001).

En el caso de la selección del contratista es importante que esta sea lo más temprana posible para que su participación en el proceso de diseño impacte positivamente en el rendimiento del proyecto (Song et al., 2009).

En general se han propuesto muchos métodos para la mejora de la selección de proveedores, entre los que figuran los siguientes:

- Modelo de selección de materiales basado en el Análisis de Componentes Principales Difusos (Lam et al., 2010).
- Modelo de gestión integrada de materiales de construcción mediante el despliegue de principios de gestión virtual del inventario, redes de gestión de materiales y un proceso de selección de proveedores (Safa et al., 2014).
- Marco de selección de proveedores adaptado a la integración efectiva de la información por medio de BIM y el sistema de información geográfica (SIG), donde se destaca la capacidad de resiliencia (Wang et al., 2017).
- Método de evaluación basado en los principios lean y las prácticas de asociación. Permite a los contratistas principales ayudar a los subcontratistas a mejorar su rendimiento proporcionándoles retroalimentación periódica. La selección de subcontratistas es a partir de su desempeño previo, lo cual fomenta las relaciones de colaboración con aquellos que constantemente se desempeñan bien (Maturana et al., 2007).

2.6.2.3 Riesgos

Gosling propone un marco de referencia para determinar los riesgos en la CSC. Tiene tres fases: Identificación, descripción y categorización de las incertidumbres (matriz de severidad)

(Gosling et al., 2013a).

La identificación de los principales factores de riesgo y su relevancia son importantes en la gestión de riesgos de los contratos. En general los clientes, los contratistas y los consultores están de acuerdo en el impacto de los riesgos individuales. Además si la gestión del riesgo se hace correctamente, habría un aumento de la relación calidad-precio en todo el proceso de adquisición (Chan et al., 2011).

Uno de los riesgos recurrente es la corrupción, debido a los siguientes factores: la escasez de conocimientos especializados en la industria, la aparente ausencia de medidas disuasorias y sanciones y las deficientes normas éticas (Bowen et al., 2012).

En el caso de proyectos con alta cantidad de componentes *off-site* se sugiere a los gestores poner énfasis en los riesgos asociados a la coordinación de las dimensiones in situ y *off-site*. Esto disminuye considerablemente la posibilidad de que se produzcan desviaciones del rendimiento del proyecto (Arashpour et al., 2017).

2.6.2.4 Gobernanza

Las nuevas estrategias de SCM y asociaciones en la construcción requieren un método de gobernanza que se ocupe de la interdependencia de la red de actores de los PC (proceso no lineal, complejo, iterativo e interactivo). En esta red existe una serie de intercambios de información, clasificadas según las principales funciones del proyecto y apoyada por relaciones contractuales e incentivos (Pryke, 2004, 2005).

Se pueden definir cuatro categorías de la gobernanza: económica (costos de transacción), producción (gestión de la SC), organización (redes interempresariales) y social (comunicación y compromiso en la SC) (Vrijhoef, 2011). Relacionado con la gobernanza social se afirma que la asociación se define como procedimientos de adquisición cooperativas (Eriksson, 2015a). A través de un análisis de redes sociales (SCN) se puede realizar la gobernanza de los proyectos de construcción para mejorar el rendimiento de los proyectos (Pryke, 2004, 2005).

Se demuestra que la gobernanza contractual es más eficaz para mejorar el rendimiento, mientras que la gobernanza relacional es más poderosa para restringir el oportunismo. Pero para este estudio el oportunismo no tiene un impacto negativo en el rendimiento del proyecto (Lu et al., 2015).

2.6.2.5 Sustentabilidad

Uno de los aspectos más importantes para lograr la sustentabilidad en la CSC es la intervención del gobierno (Wong et al., 2016), a través de las reglamentaciones. Por ejemplo, en la actualidad existe una laguna de conocimientos sobre el statu quo de las adquisiciones sostenibles en Canadá. Un estudio demostró que las iniciativas de adquisición sostenible rara vez se han utilizado en la industria de la construcción de Canadá (Ruparathna & Hewage, 2015b).

En otras investigaciones la sustentabilidad de la CSC se estudió desde el punto de vista operacional, más específicamente el movimiento de transportes. En los cuales se determina que el 62,6 % eran entregas de material y el 26,3 % de desechos (2,4 viajes de entrega de materiales por cada viaje de eliminación de residuos) (Shakantu et al., 2008). La utilización de BIM podría optimizar los procesos para mejorar la sustentabilidad de los PC (Wong et al., 2016), lo que mejoraría el rendimiento de la CSC.

2.6.2.6 Filosofías de gestión: Lean, Ágil, JIT, CC (Critical Chain), ETO, Reingeniería

La aplicación de *Lean* o *Ágil* en las CSC de viviendas deben diseñarse en función de si los objetivos del mercado son el bajo costo, la flexibilidad o una combinación de ambos (Hong-Minh et al., 2001; Naim & Barlow, 2003). De la filosofía *Lean* se deben aplicar los conceptos de cooperación y asociación (Eriksson, 2010).

La aplicación *Lean* no siempre es lo más conveniente y depende del contexto. En ciertos casos se han intentado eliminar los *buffers (lean)*. Algunos de esos intentos dieron lugar a niveles reducidos de capacidad de respuesta y flexibilidad para responder a la incertidumbre de los PC (Fearne & Fowler, 2006). En otro estudio se propone la gestión de los buffer por medio CC (Ning & Yeo, 2002).

En la gestión tradicional el "*just in time*" (JIT) parece ser superior al "*just in case*" (JIC). Pero por ejemplo en proyectos y en países en desarrollo pueden verse obligados a mantener un inventario excesivo bajo algunas circunstancias para ayudar a manejar la incertidumbre en la SC, la alta inflación, los descuentos disponibles en los precios de grandes cantidades de materiales y los descuentos por compras anticipadas. En estos casos el JIC es más beneficioso que JIT (4,4 % de ahorro) (Polat et al., 2007; Polat & Arditi, 2005).

En las SC de las organizaciones ETO, se sugiere que la integración de la ingeniería y la producción son los factores más decisivos que influyen en la coordinación de una SC (Mello et al., 2015). Con la reingeniería de procesos se puede mejorar el flujo de materiales (Childerkouse et al., 2003).

El mapeo de procesos de cómo fluye el trabajo a lo largo de las fases de diseño, adquisición y fabricación de un proceso específico ayuda a la mejora del rendimiento de la CSC (Arbulu et al., 2003).

2.6.2.7 Gestión de compras

Los factores relacionados con las adquisiciones afectan a los criterios de ejecución de los proyectos. Por ejemplo, los procedimientos de adquisición cooperativa tienen en general un resultado positivo. Estas relaciones son moderadas o mediadas por el clima de colaboración (es decir, la confianza y el compromiso entre los asociados) en el proyecto y por las características generales del proyecto (el grado de dificultad del proyecto en cuanto a complejidad, personalización, incertidumbre, valor/tamaño y presión de tiempo) (Eriksson & Westerberg, 2011).

En general no hay una visión unificada en la industria de la construcción sobre la adquisición como proceso de proyecto. Las prácticas de adquisición se analizan por separado: procesos, métodos y políticas. Pero se ha comenzado a entender la importancia de reconocer la aplicación de las dimensiones ambientales y sociales (Ruparathna & Hewage, 2015a). Además, en las nuevas tendencias se realizan soluciones de *e-procurement* o *e-commerce* (Eziyi O Ibem & Lecturer, 2015; Grilo & Jardim-Goncalves, 2011; Kong et al., 2003).

2.6.2.8 Modularidad -prefabricación

Para mejorar el desempeño de la CSC se ha incursionado en la modularidad y prefabricación. En los sectores aeronáuticos y aeroespaciales la modularidad es una realidad, así como en la construcción prefabricada. Lo que ha traído aparejado soluciones y nuevos desafíos de coordinación externa al sitio de producción (Tezel et al., 2017).

Los análisis de modularidad deben incluir la dinámica de la organización de los fabricantes, los proveedores de equipos y los proveedores en general (Frigant & Talbot, 2001). Se debe analizar la modularidad: técnica, organizacional y tecnológica, para lograr una transformación

de la arquitectura del producto (Frigant & Talbot, 2005). Otros autores hacen foco en tres tipos de modularidad que pueden aplicarse a los edificios con un impacto en la organización de la SC: en producción, en diseño y en uso (Vrijhoef, 2011).

2.6.2.9 Rendimiento

Se citarán los trabajos más alineados con esta tesis. Por ejemplo, la aplicación de mapeo de procesos y el modelo SCOR para determinar el rendimiento de CSCM. A través de estas herramientas se midió el rendimiento de los proveedores en términos de Cumplimiento perfecto del pedido (POF) en el sitio de construcción, que arrojó un resultado del 38 %.

Se hicieron propuestas de mejoras en: comunicación, asignación predefinida del material, la evaluación del rendimiento del proveedor, la verificación y notificación de la entrega y el uso del modelo SCOR (Thunberg, 2013) (Persson & Thunberg, 2012). Además se agrega que los indicadores claves son los de los proveedores estratégicos (Gosling, Naim, et al., 2015).

Se consideran la descripción de la SC mediante indicadores claves en diez áreas: objetivos mutuos, reparto de ganancias y pérdidas, confianza, cultura de no culpabilidad, trabajo conjunto, comunicación, resolución de problemas, asignación de riesgos, medición del rendimiento y mejora continua. El análisis revela que el deterioro de la relación entre las partes del proyecto puede aumentar la probabilidad de un desempeño deficiente. Pero la colaboración y la asociación en la SC pueden ayudar a resolver los problemas de rendimiento. En la medición del rendimiento de los proyectos de UK no se encuentra una relación con el rendimiento de la CSC (Meng, 2010b).

TIEMPO	
Completados a tiempo	64,4%
Retrasados	35,6%
COSTOS	
Dentro de presupuesto	74,8%
en exceso	25,2%
CALIDAD	
Sin defectos	11,8%
Con defectos menores	70,6%
Con defectos medios	16,7%
Con defectos importantes	1,0%
Totalmente defectuosos	0,0%

Tabla 2 - 7 – Rendimientos de proyectos UK (Meng, 2010)

En la tabla 2- 7 se muestran algunos resultados de esta investigación.

El rendimiento de la productividad in situ afecta el éxito de los proyectos. La tasa de productividad laboral en el sitio se ve afectada por las actividades relacionadas con la etapa previa a la ejecución, a saber: la ineficacia de la planificación del proyecto, las demoras causadas por errores de diseño, el sistema de comunicación adoptado, las cuestiones relacionadas con el diseño y la construcción, incluidas las especificaciones y el método de adquisición adoptado. Para lo cual se propone que los contratistas participen en el diseño y la necesidad de invertir en tecnología e innovación (SCM, *lean construction*, la ingeniería de

valor, PM y el BIM) (Meng, 2010b).

Relacionado con este tema se hace notar la importancia de la calidad del entorno de trabajo. Este principio se conoce como Calidad de Vida Laboral (QWL). La filosofía detrás de esto es que los empleados normalmente serán más productivos si activamente disfrutan de la experiencia laboral, en lugar de solo adaptar sus vidas al trabajo (Naoum, 2016).

La gobernanza contractual y la confianza tienen un efecto positivo en el desempeño de la CSC de los proyectos EPC (Ke et al., 2015). Más allá de estos esfuerzos mencionados se considera que hay una laguna en la investigación sobre el rendimiento de la CSC (Mishra et al., 2017).

2.6.2.10 Costos logísticos

Los materiales de construcción son importantes en el costo total de la construcción (entre el 40 al 60 % del costo total). Mediante el enfoque de costos basados en actividades (ABC) los recursos consumidos pueden ser rastreados hasta la actividad consumidora y posteriormente a un elemento de coste concreto. Los resultados indican que un modelo de simulación puede identificar la opción más baja en costo logístico sin afectar el cronograma de construcción (Fang & Ng, 2011).

2.6.2.11 Tecnología

Con respecto a las tecnologías un estudio revela que la mayoría son aplicaciones web que facilitan la comunicación en tiempo real y la colaboración en la CSC. Todavía no hay una tecnología digital única que integre todas las actividades de adquisición y que se pueda adoptar para gestionar todo el ciclo de vida de adquisiciones de la construcción. Aún existen brechas entre los sistemas de información de: diseño, prefabricación y los procesos de construcción in situ (Ibem & Laryea, 2014; Mohammad Hasanzadeh et al., 2014).

- **Integración**

Debido al avance de las TIC en los últimos 15 años se han desarrollado y desplegado diversas tecnologías de integración de sistemas de proyectos de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) (Shen et al., 2010). Entre las aplicaciones de TIC interorganizacionales, es importante desarrollar la motivación personal y externa para usar esta tecnología (Adriaanse et al., 2010). En los sistemas de información interorganizacional (IOIS) basados en la web, las características de la organización y las características de las relaciones de su SC son influyentes en su

aplicación (Hadaya & Pellerin, 2010).

- **BIM (Building Information Modelling)**

BIM es una herramienta que mejora el rendimiento de la SC en proyectos AEC al eliminar el riesgo de duplicación de información, la mala interpretación de diseño, al mejorar la comunicación, la racionalización de los procesos, proporcionando práctica colaborativa y, asegurando el control y el intercambio de documentación (Arayici et al., 2011). Es importante la utilización de BIM para el mapeo general de la construcción.

Un relevamiento de investigaciones entre el 2006 al 2016 revela que las aplicaciones de BIM se han centrado predominantemente en la tecnología, mientras que los antecedentes relacionados con el PM se han investigado poco (Oraee et al., 2017).

En general, el BIM para mejorar el rendimiento del SC se aplica con otras tecnologías. Por ejemplo, se presenta un modelo integrado de SIG-BIM para el flujo de materiales, la disponibilidad de recursos y referenciación de las respectivas SC (Irizarry et al., 2013). Otra aplicación es el BIM y realidad virtual (en tiempo real), lo cual mejora de los procesos de transferencia de información (J. Du et al., 2018).

Además, se ha propuesto una integración entre la Internet de las Cosas (IO) y el BIM para proyectos de viviendas públicas prefabricadas en Hong Kong. El sistema está diseñado para reunir datos en tiempo real a lo largo de los procesos de trabajo de montaje in situ de las construcciones prefabricadas utilizando RFID. De esta manera la plataforma ayuda a la toma de decisiones de los interesados (Li et al., 2018).

- **RFID y Móvil**

Estas tecnologías se han aplicado desde diferentes puntos de vista en CSC, a saber:

- Gestionar la información en el Ciclo de Vida (Lee et al., 2013; Winch, 2006)
- Controlar y gestionar la SC (Hinkka & Tätilä, 2013; Wang et al., 2007).
- Gestionar materiales y costos (Demiralp et al., 2012; Ikonen et al., 2013; Majrouhi Sardroud, 2012; Wang & Hubbard, 2017).
- También se han desarrollado soluciones para mejorar el flujo de información a través de tecnología móvil (Chen & Kamara, 2011; Kim et al., 2013).

- **Software**

Como todas las industrias la aplicación de software es importante. Por ejemplo, para facilitar la coordinación de la CSC se crea un sistema modular y flexible que puede agregar información dispersa y compartir esta información entre los interesados (Cheng et al., 2010). Otra solución propone un enfoque basado en el seguimiento de los envíos para proporcionar transparencia en el inventario y las entregas eficientes del material (Ala-Risku & Kärkkäinen, 2006).

- **Cloud computing**

Con los avances en la TIC, en particular del *cloud computing*, la fragmentación de la CSC puede ser superada. La tecnología podría mejorar el flujo de información en diversas etapas del ciclo de vida de un proyecto, para lo cual ya existen aplicaciones (Chong et al., 2014). En otro caso se desarrolla un marco conceptual para un sistema de trabajo autónomo en el entorno ETO aplicando el *cloud computing* al sistema de fabricación (Husejnagić & Sluga, 2015).

- **Impresión 3D**

La tecnología de impresión en 3D está cambiando las reglas del juego de la CSC. Por ejemplo, la impresión en 3D del hormigón proporciona potencialmente varias mejoras en el rendimiento de la fabricación, como acortar los plazos, integrar las funciones y permitir un uso reducido del material, transformando en obsoletos los procesos actuales de la CSC (Kothman & Faber, 2016).

2.6.2.12 Modelos

En la bibliografía seleccionada se utilizan diferentes herramientas para plantear los modelos para solucionar problemas de la CSC, las principales se mencionan a continuación:

- **Modelos de regresión logística y de red neural** para predecir las características más importantes del contratista asociadas al éxito del proyecto (mano de obra, recursos de planta, imagen de la empresa, historial de facturación, resultados de gestión anteriores, política de calidad y eliminación de desechos) (Al-Zahrani, 2013).
- **Modelo basado en agentes (ABM)** para mejorar el rendimiento de la CSC, a través de la coordinación de la CSC, y la teoría y negociación de atributos múltiples (Xue et al., 2005).

- **Modelo de análisis de redes sociales** para mejorar las relaciones interorganizacionales en redes, el intercambio de conocimientos en la SC y crear conocimientos específicos promoviendo la confianza y la motivación (Capó-Vicedo et al., 2011).
- **Simulador de CSC-ABM**, (humano-humano y de computadora-humano). Se verifica la importancia del intercambio de información en tiempo real en la construcción (Min & Bjornsson, 2008).
- **Simulación híbrida** basada en los principios de la dinámica de sistemas (SD) y la simulación de eventos discretos DES. El enfoque planteado puede servir para abordar las complejas interacciones entre la operación y el contexto (Lee et al., 2009).
- **Modelo de entropía relativa** para mejorar la negociación ABM en CSC (Xue et al., 2009).
- **ABM para investigar los comportamientos cooperativos**. Se investiga la cooperación interfuncional en un proyecto EPC. El resultado ha demostrado que la Human Cooperative Behavioral Library (HCBL – base de datos de comportamientos típicos) facilita el desarrollo de los modelos ABM (J. Du et al., 2016).
- **Sistemas multiagente** en la construcción para abordar los problemas de la colaboración y el consenso entre los interesados (Liang et al., 2016). Otro trabajo con la misma metodología plantea la comparación de múltiples atributos de los interesados (Nyongesa et al., 2017).
- **Modelo de Simulación de Acontecimientos Discretos (DES) con BIM**. El BIM proporciona la información del producto y del proceso al DES, facilitando la construcción y el mantenimiento del modelo DES. El modelo DES evalúa las prestaciones de la construcción y proporciona una valiosa retroalimentación al proceso BIM para la toma de decisiones (Lu & Olofsson, 2014).
- **Modelo utilizando el programa *Pertmaster Risk Expert*[™]** en donde se incorporaron las demoras de la CSC aplicadas a una red de un proyecto típico. Los resultados de la simulación mostraron una demora media del 22 % de la duración del proyecto. La utilización de subcontratistas en el proyecto redujo esta demora en aproximadamente un 45 %. También se supo que las demoras en el flujo de materiales causaron el mayor impacto en el proyecto, seguido por el flujo de mano de obra, el

flujo de información y el flujo de planta, equipo y trabajo temporal (Hatmoko & Scott, 2010).

- **Modelo SCOR y simulación informática.** Esta metodología ayuda a identificar las funciones y a comunicarse fácilmente entre interesados. Además, los DP pueden identificar los cuellos de botella en una SC y mejorar considerablemente el rendimiento de la CSC (Pan et al., 2010).

2.7 MARCO DE REFERENCIA

En un principio la situación problemática fue detectada en proyectos de construcción, pero se observó que la misma se repetía en proyectos poli-industrias (por ej. industriales, mineros). Por eso se estudió desde un punto de vista más amplio en las IBP.

Desde el punto de vista general se debe detectar precisamente en qué función de la CSC se está actuando (Vrijhoef & Koskela, 2000). En esta tesis se busca mejorar la integración entre CSC y sitio de producción, para lo cual se propone un modelo predictivo que pueda relacionar rendimientos de la red de abastecimiento y el proyecto. Por lo cual se considera que se está en el Rol 4 (figura 2-9).

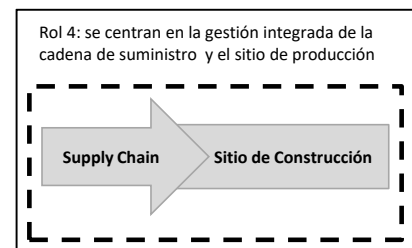


Figura 2 - 8 Rol 4 de la CSC. Extraído de (Vrijhoef & Koskela, 2000)

Otro punto importante a estudiar en las CSC es, el estado en que se encuentra la integración del modelo de negocio de diseño, si se lo considera como una integración vertical ascendente. La pregunta es: qué etapas del modelo del negocio se incluyen en el proyecto que se realizará (desde el concepto a pedido al hacer a pedido). La figura 2-10 muestra los procesos del modelo de negocio que se pueden integrar.

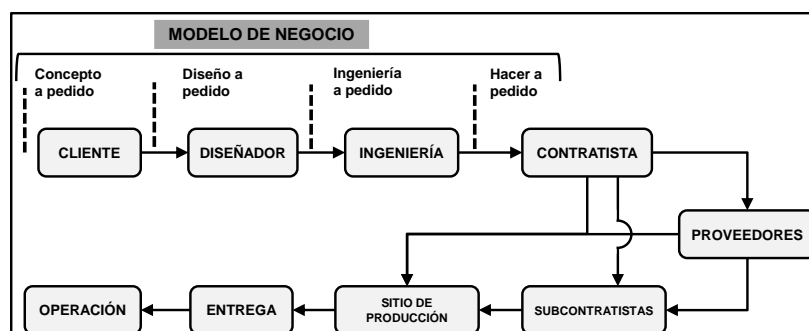


Figura 2 - 9 Modelo de Negocio. Adaptado de Vrijhoef (2011)

En el caso de las IBP se detectan algunas similitudes pero también grandes diferencias (Tapia et al., 2017). Esto permite observar que estas industrias están en etapas evolutivas distintas, asociado al tipo de producto y a los avances tecnológicos. Además, existen un conjunto de características que definen a cada sector (ver fig. 2-11). Se puede observar dos extremos bien definidos la industria aeroespacial y la construcción (según la complejidad de la integración de su SC).

La industria aeroespacial está guiada por la competencia global, pocos jugadores y que buscan ventajas competitivas. Es la IBP que obtiene los mejores rendimientos en la actualidad. El trabajo colaborativo es un "imperativo comercial", con dependencia mutua entre actores (Fernie, 2005). Pero sus proyectos están inmersos en un SC predefinido y estable.

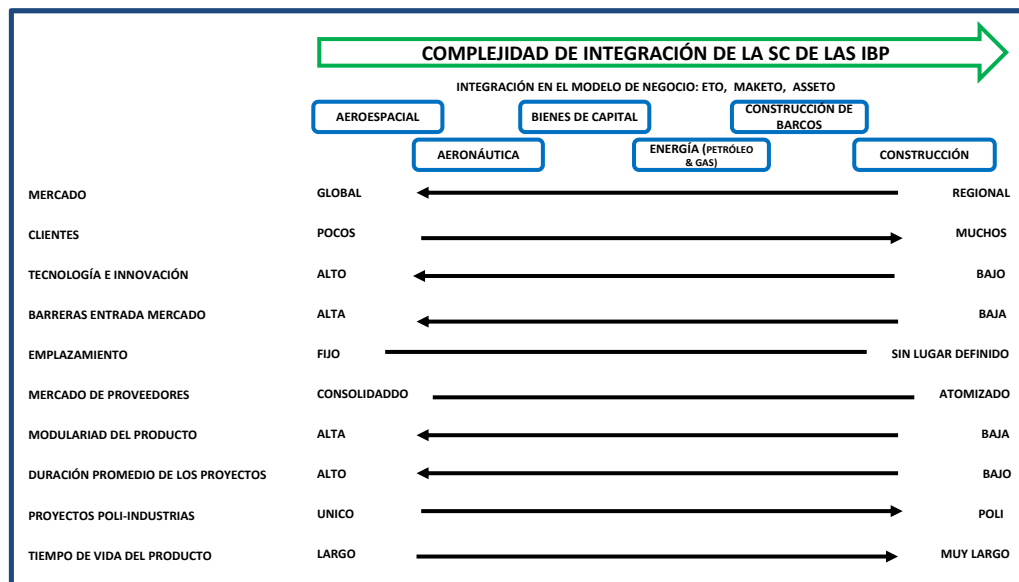


Figura 2 - 10 Complejidad de Integración de la SC de las IBP, extraído de (Tapia et al., 2017)

La aeronáutica se caracteriza por: mercado de exigencias tecnológicas altas y demandas variables, pocos compradores y vendedores (de grandes sistemas), oligopolio, arquitectura integral, SC jerarquizada. En esta industria se suele subcontratar hasta un 70 % del producto final. Grandes fabricantes integradores de sistemas, que buscan calidad concertada y práctica de reducción de los plazos de entrega (Cueto & Romero, 2004).

En cambio, en la construcción se observa poca perspectiva estratégica, con necesidad de cambio cultural. Además, está influenciada por los contextos regionales donde se realiza (Fernie, 2005). Es una IBP con características específicas tales como diseño de ubicación limitada, producción única, coaliciones de producción cambiantes por proyecto,

circunstancias externas y ambientales, múltiples clientes y múltiples proveedores (ver fig.2-11).

Durante el desarrollo del estudio bibliográfico de esta tesis se encuentra evidencia de que el problema planteado es real y sin solución definitiva. Además, es global, ya sea en países desarrollados o no desarrollados, con sus contrastes de entorno.

Con respecto a la Industria de la Construcción, se observa que la aplicación de los conceptos del SCM y el SCMR está en una etapa difusa sin claridad de aplicación metodológica.

Los planteos de investigación son de dos puntos de vista: el social y el ingenieril. Por lo cual varios trabajos de investigación apuntan al comportamiento de la SC como una red social (confianza, asociación, cooperación, modelo basado en agentes, gobernanza, madurez, entre otros). Hay un porcentaje menor que es del punto de vista ingenieril (mapeo de procesos, rendimientos, programación, aplicación de tecnología, entre otros).

También se observa que para la gestión de proyectos hay dos tendencias de gestión: está extendido el uso de las buenas prácticas del PM (PMI-IPMA) y el pensamiento del *lean-construction* y *last-planner*. Estas dos formas de gestionar no tocan en profundidad la aplicación de los conceptos del SCM.

En relación con la línea de los temas de esta tesis se observa una escasez de investigaciones relacionadas entre el rendimiento de los CP y la CSC. Lo que lleva a concluir que se deben generar datos para continuar con la investigación.

Con respecto a los modelos de simulación de la CSC se encuentran varios con la aplicación de: redes sociales, modelado basado en agentes, redes neuronales, sistemas dinámicos y eventos discretos. Pero las temáticas desarrolladas en estos modelos no están asociadas directamente con la propuesta de la hipótesis.

Por lo tanto se concluye que: en el marco teórico desarrollado, se ha encontrado escasa evidencia de soluciones al problema planteado en esta tesis.

CAPÍTULO 3

ALCANCE Y DISEÑO DE LA

INVESTIGACIÓN

3 CAPÍTULO - ALCANCE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

En la revisión bibliográfica se encontraron estudios de indicadores de rendimiento en proyectos o en SC, pero no investigaciones que relacionen ambos tipos. Tampoco se hallaron modelos predictivos que vinculen las variables NS de CSC y CPI-SPI del proyecto correspondiente.

En esta tesis se busca por medio de un modelo predictivo explicar la relación entre rendimiento de la CSC y el rendimiento del proyecto asociado a esta cadena. Se trata de proporcionar un sentido de entendimiento del fenómeno al que se hace referencia.

Por lo tanto, se desarrolló un estudio explicativo que permita encontrar las causas, expresar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da, o por qué dos o más variables están relacionadas (Hernández Sampieri et al., 2014). Esta investigación es explicativa que contiene un proceso con elementos de los alcances exploratorios, descriptivos y correlacionales.

La búsqueda se basó en responder algunos interrogantes (vistos en el capítulo 1), de preguntas tales como:

- ¿Cómo es la relación del cliente con sus proveedores, o cómo son las relaciones cliente-proveedor en general?
- ¿Cómo se gestionan los recursos, no solo en la empresa ejecutora, sino en toda la red de abastecimiento?
- ¿Qué rendimiento tiene la red de abastecimiento de este tipo de proyectos?
- ¿Se tiene visibilidad y claridad de cómo se comporta esta red de abastecimiento?
- ¿Cómo influye en el rendimiento global de la red el rendimiento de cada eslabón?
- ¿Este tipo de redes son sustentables?
- ¿Qué nivel de involucramiento hay de los nodos, para cumplir con el cliente que necesita el proyecto?
- ¿Qué nivel de formalización en gestión tienen estos nodos?
- ¿Cómo es la dinámica de los flujos de recursos: materiales, equipos, información, dinero, etc.?

- ¿Qué influencia tiene esta dinámica en el rendimiento de los proyectos?
- ¿La velocidad de estos flujos es constante o hay aceleración, hay interrupciones de la SC, cómo afecta al rendimiento de los proyectos?
- ¿Se aplica formalmente la gestión de la calidad en la red?
- ¿Se puede crear un modelo que sea predictivo?
- ¿Se puede predecir por medio del rendimiento de los eslabones de la red, el rendimiento de los proyectos?
- ¿Cómo afecta al rendimiento de los proyectos el NS de los proveedores?
- ¿Cómo afecta al NS la composición de proveedores según su origen?
- ¿Qué tan relevante es la madurez en gestión de proyectos de las empresas proveedoras en el resultado final de los proyectos?, entre otras.

En la bibliografía general –tal como se mencionó anteriormente- se encuentran estudios de indicadores de rendimiento de CP y CSC en RCA por separado. Es decir, no se halló evidencia de que el tema en estudio haya sido investigado desde esta perspectiva. Dada esta situación es que se consideró necesario en primer lugar, realizar un estudio de alcance exploratorio. Así poder determinar tendencias, identificar las relaciones entre variables y establecer el “tono” de investigaciones posteriores más rigurosas (Hernández Sampieri et al., 2014).

Posteriormente, se investigó para definir las propiedades más importantes de los proyectos y SC de la Región de Cuyo Argentina y con ellas poder comprobar cómo se manifiestan las variables de la hipótesis (alcance descriptivo).

La pregunta de investigación incluye la relación de dos o más variables, es decir, este estudio tiene como propósito medir el grado de relación que exista entre dos o más conceptos o variables en un contexto en particular RCA (estudio correlacional).

Una vez recorrido este camino, se aplicó la simulación por medio de modelos predictivos para explicar la relación que está en estudio. Es decir, determinar cómo es la variación del rendimiento de un proyecto de la Región de Cuyo Argentina en función del desvío estándar del nivel de servicio de la red de abastecimiento del proyecto. En la figura 3-1 se observa la relación entre los distintos procesos.

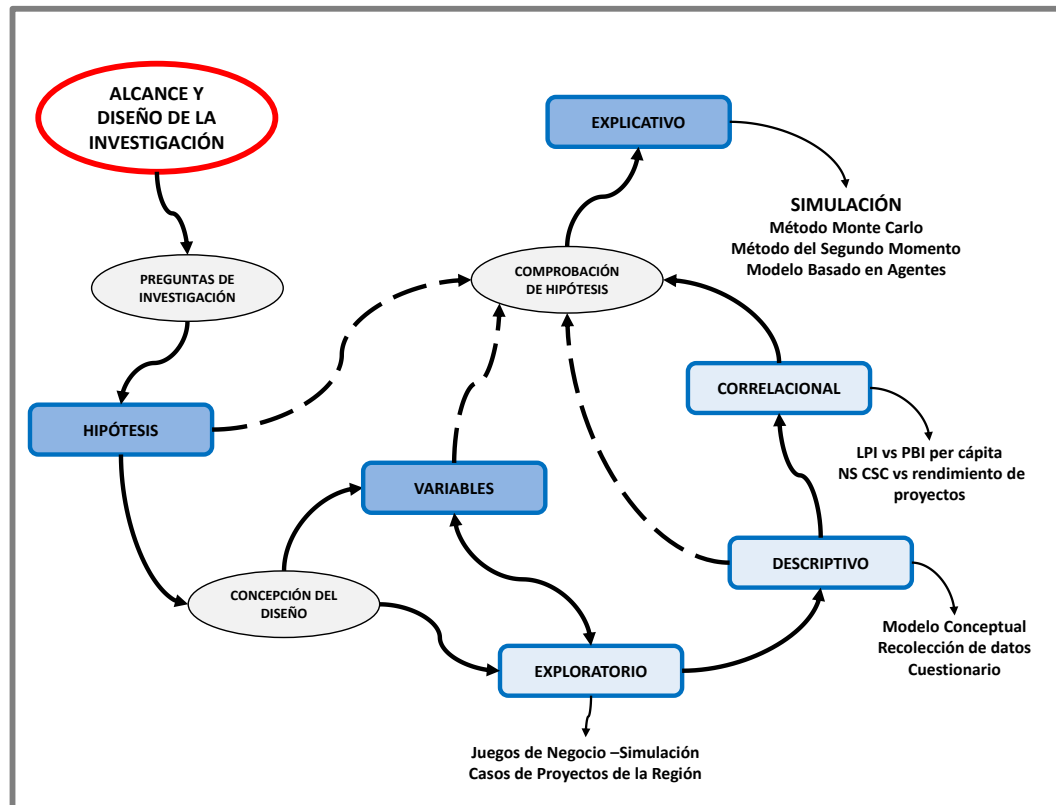


Figura 3 - 1 –Mapa mental del Alcance y Diseño de la Investigación

3.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1 Hipótesis General

HG: El rendimiento de un proyecto de la Región de Cuyo Argentina varía en función del desvío estándar del nivel de servicio de la red de abastecimiento del proyecto.

3.2.2 Hipótesis Secundaria

HS1: El nivel de servicio de la red de abastecimiento de un proyecto de construcción en la región de Cuyo Argentina está asociado principalmente al nivel de servicio de los proveedores regionales donde se realiza el proyecto.

HS2: El índice de rendimiento logístico de una región está asociado al ingreso per cápita y la actividad económica.

3.3 CONCEPCIÓN DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

El desarrollo de la tesis consiste en la obtención de un modelo que relaciones los rendimientos de la red de abastecimiento del proyecto y los del proyecto. La medición del rendimiento se encuadra en la siguiente definición:

“Es el proceso de cuantificar la eficacia y la eficiencia de la acción. La eficacia es la medida en que se satisfacen los requisitos de un cliente y la eficiencia mide la forma en que se utilizan económicamente los recursos de una empresa cuando se proporciona un nivel de satisfacción del cliente. Los sistemas de medición del rendimiento se describen como el conjunto general de mediciones utilizadas para cuantificar tanto la eficiencia como la eficacia de la acción...” (traducción del autor) (Shepherdand Gunter, 2006 apud. Farahani et al., 2009).

El desarrollo de la tesis se centra en la medición de la eficacia, por lo cual se utilizan como variables independientes aquellas que apunten a medir la eficacia. Con respecto a las variables dependientes se utilizan indicadores internos de la medición de la eficiencia de la gestión de proyectos.

3.3.1 Variable dependiente

Las variables dependientes que se consideran son las que definen el éxito en la gestión de proyectos que está dado por la restricción triple. En esta tesis solo se utilizarán dos: el costo y el tiempo. Los indicadores de uso más extendido son los de la técnica del valor ganado el CPI (*cost performance index*) y el SPI (*Schedule performance index*), a continuación se aclaran los conceptos (PMI, 2017).

Análisis del valor ganado (EVA, *earned value analysis*) (PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)(PMI, 2017)

A continuación, se presentan conceptos extraídos de PMI (2017). El análisis del valor ganado compara la línea base para la medición del desempeño con respecto al desempeño real del cronograma y del costo. El EVA integra la línea base del alcance con la línea base de costos y la línea base del cronograma para generar la línea base para la medición del desempeño. El EVA establece y monitorea tres dimensiones claves para cada paquete de trabajo y cada cuenta de control, a saber:

- **Valor planificado:** el valor planificado (PV) es el presupuesto autorizado que se ha asignado al trabajo programado, que debe ejecutarse para completar una actividad o un componente de la estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS), sin contar con la reserva de gestión. Este presupuesto se adjudica por fase a lo largo del proyecto, pero

para un punto dado en el tiempo, el valor planificado establece el trabajo físico que se debería haber llevado a cabo hasta ese momento.

- **Valor ganado:** el valor ganado (EV) es la medida del trabajo realizado expresado en términos de presupuesto autorizado para dicho trabajo. EV medido debe corresponderse con el presupuesto del proyecto y no puede ser mayor que el presupuesto aprobado del PV para un componente. El EV se utiliza a menudo para calcular el porcentaje completado de un proyecto. Deberían establecerse criterios de medición del avance para cada componente de la EDT/WBS, con objeto de medir el trabajo en curso. Los directores de proyecto monitorean el EV, tanto sus incrementos para determinar el estado actual, como el total acumulado, para establecer las tendencias de desempeño a largo plazo.
- **Costo real.** El costo real (AC) es el costo incurrido por el trabajo llevado a cabo en una actividad durante un período de tiempo específico. Es el costo total en el que se ha incurrido para llevar a cabo el trabajo medido por el EV. El AC debe corresponderse, en cuanto a definición, con lo que haya sido presupuestado para el PV y medido por el EV (p.ej., solo horas directas, solo costos directos o todos los costos, incluidos los costos indirectos). El AC no tiene límite superior, se medirán los costos en los que se incurra para obtener el EV.

A continuación, se describen los índices de rendimiento de costo y cronograma.

- **Costo:** es la estimación del valor monetario del proyecto, está relacionado con el alcance, los recursos y el cronograma. El índice del rendimiento de costos se puede medir por la técnica del valor ganado. El índice de desempeño del costo (CPI) es una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados, expresado como la razón entre el valor ganado y el costo real. Se considera la métrica más crítica del EVA y mide la eficiencia del costo para el trabajo completado. Un valor de CPI inferior a 1,0 indica un costo superior al planificado con respecto al trabajo completado. Un valor de CPI superior a 1,0 indica un costo inferior con respecto al desempeño hasta la fecha. El CPI es igual a la razón entre el EV y el AC. Expresión de cálculo: $CPI = EV/AC$.
- **Tiempo:** se refiere a la gestión del cronograma, con el objeto de terminar el proyecto en el plazo planificado. El índice de rendimiento del cronograma se puede medir por la técnica del valor ganado. El índice de desempeño del cronograma (SPI) es una

medida de eficiencia del cronograma que se expresa como la razón entre el valor ganado y el valor planificado. Refleja la medida de la eficiencia con que el equipo del proyecto está llevando a cabo el trabajo. En ocasiones se utiliza en combinación con el índice de desempeño del costo (CPI) para proyectar las estimaciones finales a la conclusión del proyecto. Un valor de SPI inferior a 1,0 indica que la cantidad de trabajo llevado a cabo es menor que la prevista. Si es superior a 1 la cantidad de trabajo efectuado es mayor a lo previsto. Puesto que el SPI mide todo el trabajo del proyecto, se debe analizar asimismo el desempeño en la ruta crítica, para así determinar si el proyecto terminará antes o después de la fecha de finalización programada. El SPI es igual a la razón entre el EV y el PV. Expresión de cálculo: $SPI=EV/PV$.

3.3.2 Variable Independiente

Se considerarán como variables independientes aquellas relacionadas con el rendimiento de la SC. El indicador que se utilizará será el nivel de servicio (NS).

Tradicionalmente, la medición de la actuación profesional se ha centrado en las operaciones de los procesos dentro de los límites organizativos de una empresa. En el contexto de la SCP (*supply chain performance*), la medición del rendimiento no solo implica los procesos internos, sino que también requiere una comprensión de las expectativas de rendimiento de las demás empresas miembros de la cadena de suministro, desde los proveedores hasta los clientes. La coordinación entre las diversas partes de la cadena de suministro es la clave de su aplicación (Farahani et al., 2009).

Entre las conceptualizaciones existentes de SCP, el modelo de referencia de operaciones de la cadena de suministro (SCOR), desarrollado por el Consejo de la Cadena de Suministro, proporciona un marco útil que considera los requisitos de desempeño de los miembros en una SC. El modelo SCOR es un modelo de referencia de procesos, que contiene una descripción estándar de los procesos de gestión, un marco de relaciones entre los procesos estándar, una métrica estándar para medir el rendimiento de los procesos, prácticas de gestión que producen el mejor rendimiento de su clase y una alineación estándar con las características y funcionalidad del software (Farahani et al., 2009).

El modelo SCOR considera las actividades de la cadena de suministro como una serie de procesos interorganizacionales entrelazados en los que cada organización individual consta

de cinco componentes: planear, abastecer, fabricar, entregar y devolver. Cada uno de estos componentes se considera un proceso interorganizacional crítico en la cadena de suministro, con cinco criterios de medición: 1) fiabilidad de la cadena de suministro, 2) capacidad de respuesta, 3) flexibilidad, 4) costos y 5) activos (bienes). Los tres primeros criterios se refieren a las medidas de rendimiento relacionadas con la eficacia (de cara al cliente), mientras que los siguientes dos relacionados con la eficiencia (cara interna a la organización). Las medidas de cara al cliente se refieren a la eficacia con que una SC suministra productos o servicios a los clientes, por ejemplo, el rendimiento de la entrega. Las medidas de orientación interna se refieren a la eficiencia con la que opera una cadena de suministro, por ejemplo, el tiempo del ciclo de retorno del dinero (Farahani et al., 2009).

En la categoría de la fiabilidad de la entrega se encuentra el índice del cumplimiento perfecto del pedido. Se define de la siguiente manera:

Cumplimiento perfecto del pedido. El porcentaje de pedidos cumplidos entregado en tiempo, con documentación completa y precisa y sin ningún daño de envío. Los componentes del cumplimiento perfecto del pedido incluyen todos los artículos y cantidades entregados a tiempo (utilizando la definición del cliente) y documentación para remitos, conocimientos de embarque y facturas. Se calcula como: $(\text{total de pedidos enviados a tiempo y en pedidos completos sin documentación defectuosa} - \text{pedidos con daños de envío}) / (\text{total de pedidos})$. También se suele denominar Nivel de Servicios de las entregas.

Enfoque orientado a los objetivos

Si se utiliza este enfoque se distinguen seis perspectivas cada una con una serie de objetivos particulares y medidas de rendimiento. Estas perspectivas son: la dinámica de sistemas, la investigación de operaciones/tecnología de la información, la logística, la comercialización, la organización y la estrategia. Para este estudio y en consonancia con lo anterior se encuentran las siguientes medidas de rendimiento, asociadas al nivel de servicio (Farahani et al., 2009):

- En la perspectiva de la investigación operativa, la cual puede caracterizarse como un enfoque principalmente orientado a los métodos o algoritmos para el SCP. La SC se percibe como una red de recursos. El SCM tiene que configurar esta red y programar los flujos dentro de la configuración de acuerdo con una función objetiva específica

basada en algoritmos. Entre los indicadores de esta perspectiva se encuentra como medición del NS el cumplimiento perfecto del pedido como en el modelo SCOR.

- En la perspectiva de marketing. El SCM ha adquirido recientemente una importancia estratégica como posible impulsor del efecto positivo de la comercialización en el valor para el accionista. Entre los indicadores de esta perspectiva se menciona el NS como una medición de la satisfacción del cliente. La forma de medirlo es como en los casos anteriores por el cumplimiento perfecto del pedido.

Si bien existen otro conjunto de indicadores de rendimiento de la SC, el NS medido por el cumplimiento perfecto del pedido es uno de los más utilizados. Además, se estima suficiente y alcanzable para la medición en esta investigación.

3.3.3 Operacionalización de variables

Para la medición de la variable independiente se podrá utilizar:

- Medición del nivel de servicio de cada nodo y transporte de un proyecto y establecer el nivel de servicio global de esa red de abastecimiento. Presenta: alta asociación al contexto, confiabilidad y validez, pero necesita de un trabajo muy minucioso y se requiere una gran cantidad de recursos.
- Encuestas, por medio de cuestionarios (web) relevar cuál es el nivel de servicio de los proveedores que abastecen el proyecto. Presenta: alta asociación al contexto, media confiabilidad y alta validez, el trabajo necesario para lograrlo es medio y no requiere una gran cantidad de recursos.
- Por medio de indicadores indirectos obtenidos de organismos internacionales. Presenta baja o media asociación al contexto, media confiabilidad y media o baja validez, el trabajo necesario para lograrlo es bajo y no requiere una gran cantidad de recursos.
- Extrapolación de indicadores obtenidos de la bibliografía relacionados con la región y la temática en estudio. Presenta: alta asociación al contexto, media confiabilidad y alta validez.

Se utilizará una combinación de las últimas tres formas mencionadas, dado que se consideran fiables relacionadas a los medios y recursos disponibles.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El plan o estrategia diseñada se inicia con el planteo de la situación problema y la conformación del marco-teórico por medio de un método analítico-sintético e histórico-lógico. Para cumplir con los objetivos de la tesis y realizar la construcción del conocimiento se empleó un método hipotético-deductivo.

Este diseño de la investigación permite alcanzar los objetivos de la tesis, responder a los interrogantes planteados y analizar la certeza de las hipótesis formuladas para la RCA, el contexto particular de estudio.

Para probar la veracidad o no de la hipótesis, por ello se siguieron los pasos que se mencionan a continuación.

3.4.1 Estudio Exploratorio

3.4.1.1 Juego de Negocios – Simulación

En los métodos empíricos, los datos se obtienen de la experiencia, posibilitando revelar las relaciones esenciales y las características fundamentales del problema investigado. Por ejemplo, estudiar los efectos de los factores cualitativos de un sistema de decisión.

Para poner en evidencia la situación problema, se diseñó un cuasiexperimento a través de un juego de simulación. Los juegos de negocios, pueden educar y entrenar a los usuarios ya que los jugadores son participantes activos en el mundo simulado. Además, pueden participar en la investigación para estudiar los efectos de los factores cualitativos (ej. el sistema de decisión) sobre los beneficios, etc. También son adecuados para un entorno virtual distribuido (Chung, 2004).

La Teoría de Juegos es una teoría de conflicto y cooperación que permite establecer modelos matemáticos. Se puede comprender mejor porqué la gente toma ciertas decisiones en determinadas situaciones. De esta manera se facilita la comprensión de muchas situaciones estratégicas (Roscoe & Mckeown, 2001). Se considera a John Von Neuman el padre de la teoría de juegos (Neumann & Leonard, 1995). La teoría moderna de juegos se produce con el hito del Premio Nobel de Economía a (1994): John Nash, Reinhard Selten y John Harsanyi. Los cuales fueron distinguidos por su análisis pionero del equilibrio en la teoría de juegos no cooperativos (Monsalve, 2003).

Estos juegos de simulación incluyen modelos con capacidad de ser empleados como herramientas de experimentación, lo cual facilita la visualización de la situación problema. El modelo incluye aspectos que desean ser estudiados, donde se representa el comportamiento de una situación organizacional. Si este modelo se dinamiza, con intervención sobre las variables controlables por la organización, estamos en la simulación gerencial. Si se le agrega un ambiente de competencia, se puede analizar cada decisión y sus resultados que se tienen en cuenta para tomar nuevas decisiones y repetir ciclos sucesivamente (Mesa Prieto, 1995).

El juego desarrollado para la investigación se probó durante varios años, en diferentes grupos de personas, que no fueron elegidos al azar ni emparejados. Además, pertenecen a la categoría de grupos intactos (tienen una característica en común): todos participantes de la Diplomatura de Posgrado en Dirección de Proyectos (DP) de la Facultad de Ingeniería de la UNCuyo (FIUNCuyo). Por lo cual conocen la temática que se experimenta.

Si bien los grupos son equivalentes, los resultados no son extensivos a la población de personas que intervienen en la DP de la CSC de la RCA, por ejemplo, porque no todos los integrantes de la población se capacitan.

Este experimento se diseñó con las etapas de: preprueba, reflexión y posprueba. Se manipula la variable independiente NS, a través de algunos factores que la afectan: comunicación y coordinación. La relación de estos factores en la incidencia del rendimiento del CSC está avalada por la bibliografía correspondiente del marco teórico. A través de la manipulación de las variables: comunicación y coordinación, se obtienen distintos resultados del rendimiento de la ejecución del proyecto.

El juego propuesto consiste en un proyecto de construcción de una casa de ladrillos plásticos. Para este juego se ha diseñado una red de abastecimiento tanto interna como externa a la empresa contratista principal (ver figura 3-2). Este juego ya fue presentado en el tercer Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos- 2012 (Tapia & Phillipott, 2012). En esta tesis se realizan nuevas sesiones del juego y se amplía la publicación de resultados. En la figura 3-2 se observa la CSC que se simula.

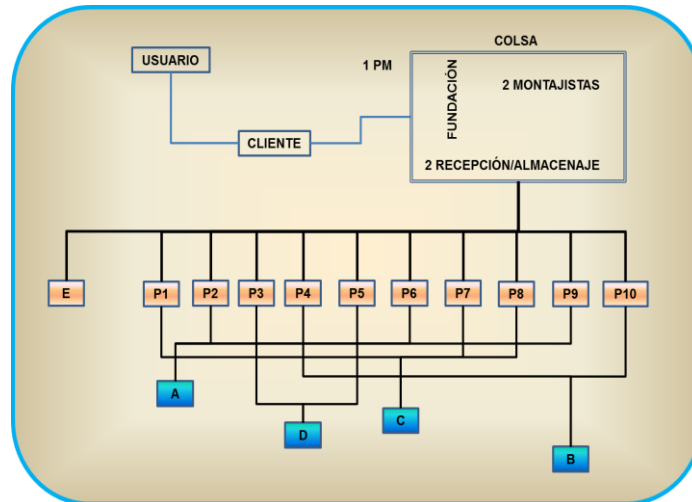


Figura 3 - 2 – CSC simulada en el juego

Los participantes del juego deben cumplir ciertas indicaciones que se dan individualmente y por escrito (manipulación de la comunicación y coordinación). Cada jugador se asume como un proveedor externo o interno al sitio del proyecto.

La estructura del juego simula una CSC con elementos componentes prefabricados. El tiempo estimado de movilización de la CSC del juego es de 12 minutos. En una sesión de 2 h se concluye la experiencia.

- **Primera instancia:**

Se reparte en forma aleatoria el rol de cada proveedor. Los roles a cumplir son: proveedores de primero y segundo nivel, Project manager, representante de ente gubernamental, cliente, operarios de almacenes, operarios dedicados al montaje. Las indicaciones están realizadas para que cada participante cumpla su misión como proveedor. La información de recepción y ensamblaje está dada por planos que se suministra a los participantes.

Se elimina del juego la variable productividad de cada uno de los proveedores (solo se limitan a cumplir con los tiempos de entrega). El rendimiento del proyecto únicamente estará afectado por el NS de la SC externa e interna, dado por el cumplimiento de las entregas y el servicio de aprovisionamiento interno.

La información y el contexto del juego se manipulan para representar los problemas existentes de las CSC. A saber: coordinación, comunicación, falta de productividad de los RRHH (puesto en evidencia en los operarios de almacén y montajistas, gestión del Project Manager, los cuales han sido elegidos al azar, por lo cual se desconoce de sus competencias para el trabajo

seleccionado) entre otros.

Bajo este contexto se realiza la simulación inicial y por medio de la observación se recogen los siguientes datos:

- Cumplimiento de la entrega de los proveedores externos (NSE), se mide como un porcentaje de las entregas bien hechas (tiempo y forma) sobre el porcentaje total de las entregas. Esta medición se asemeja a la realidad porque solo se puede medir el rendimiento del proveedor de primer nivel y no se tiene visibilidad de los proveedores de los siguientes niveles, si se observa desde el contratista principal.
- Cumplimiento de la entrega de los proveedores internos (NSI). Cantidad de elementos componentes entregados correctamente a la zona de montaje, dividido la cantidad de componentes totales.
- Avance de construcción (alcance del proyecto) finalizado al tiempo de entrega (RA). No se estudia la variación de costos ni cuánto tiempo más se necesitaría para concluir el proyecto. Para acotar la primera etapa de la sesión de profundidad solo se limita el tiempo y se mide el avance del alcance por medio de elementos componentes colocados en el sitio correspondiente, total de elementos colocados/total a colocar.

- **Segunda instancia:**

Se realiza una etapa de preparación antes de concretar la segunda instancia. Se otorga al grupo de trabajo del tiempo de una hora para sacar conclusiones y poder coordinar la red de abastecimiento simulada. La consigna es que el director de proyecto (PM) del juego coordine esta etapa del juego (es como simular que una empresa pudiese coordinar toda la SC). Con toda la información disponible se produce la coordinación y cada jugador está en condiciones de iniciar la instancia.

Se permite la reasignación de recursos de montaje, para disminuir el efecto de que los montajistas no tengan experiencia en la construcción de modelos con bloques plásticos. Se procede a medir los mismos indicadores de la primera instancia NSE, NSI, RA. Además, se agrega la medición del tiempo total que es necesario para concretar el proyecto. Con lo cual se obtiene TF, indicador de rendimiento en tiempo, que surge de la diferencia entre el tiempo estipulado y el realizado, dividido el tiempo total.

Los resultados de este cuasiexperimento se deben tomar con los recaudos necesarios a las limitaciones dadas por: reglas del juego y situación de contexto de la muestra.

3.4.1.2 Casos de proyectos de la región

Se realizó la observación directa – desde el 2015 al 2019 - de 10 proyectos de carácter mediano, los casos son de una empresa de Construcciones Metálicas de la RCA.

Se procedió a medir cuál era el rendimiento de los proveedores (entregas en tiempo y forma, dividido entregas totales) de esta empresa y si esto afectaba o no al rendimiento del proyecto (sin cuantificación).

3.4.2 Estudio Descriptivo

Para poder concretar la descripción del problema se confeccionó un modelo conceptual, se recolectaron datos y se configuró un cuestionario.

3.4.2.1 Modelo Conceptual

El objetivo es crear un modelo para investigar la realidad acotada del problema. El modelo debe tener cierta analogía estructural y funcional con el objeto de investigación: la CSC. Además, debe constituir una abstracción de la realidad, con esta materialización se obtiene un nuevo conocimiento que se aplica a la explicación del contexto del cual se partió.

En esta etapa descriptiva de la investigación se planteó el análisis del problema y se creó un modelo conceptual para describir los diferentes actores e interrelaciones del sistema simplificado de la realidad. Dejando para la etapa explicativa la materialización del modelo de la simulación, la obtención de resultados y la comparación con la extrapolación al problema inicial. Por consiguiente, sirvió para establecer cuáles son los parámetros que se necesitan medir, relacionados con las variables definidas.

A través del método de modelo y analítico-sintético, se dividió la red de abastecimiento del proyecto en nodos y transportes. Además, por el método sistémico estructural funcional se reconstruyó y explicó la realidad del problema. También, se determinó los componentes, la estructura, el principio de jerarquía y las relaciones funcionales.

3.4.2.2 Recolección de Datos

- **Archivos:** se procedió a la búsqueda de datos relevados por organismos internacionales relacionados con: el rendimiento logístico, rendimiento de

proveedores, actividad económica, ingresos, rendimiento de proyectos. Para esta actividad se consultaron las siguientes bases de datos: World Bank, Data Enterprise survey, Data FactBook-CIA, Data transparency International, Data World Economic Forum, Impulse of profession PMI.

- **Análisis secundario:** se procedió a la utilización de datos válidos y confiables obtenidos por otros investigadores de la RCA. Entre las fuentes seleccionadas se consideró la investigación de la FIUNCuyo, cuyos datos han servido para confeccionar artículos publicados en congresos o revistas (así, se puede asegurar la pertinencia y confiabilidad de los mismos). Otra fuente es la Cámara Argentina de la Construcción.

Para lograr el orden y trazabilidad de la información se procedió a su sistematización.

3.4.2.3 Cuestionario

Este instrumento de recolección de datos se lo puede caracterizar como una investigación no experimental transversal. Presenta ciertas limitaciones ya que no se pueden manipular las variables independientes. Además, las relaciones entre variables se observan tal y como se ha dado en el contexto natural y de manera indirecta. Cabe aclarar, que este cuestionario fue realizado en el marco de un proyecto PIM de la FIUNCuyo, con las correspondientes limitaciones de recursos. Para aplicar esta herramienta se confeccionaron los siguientes ítems:

- **Población y muestra**

Según el problema y los objetivos de investigación la unidad de análisis del cuestionario deberían ser personas que estén relacionadas con puestos tácticos y/o estratégicos dentro del PM dentro de la RCA. No hay información disponible para conocer el tamaño de toda esta población.

Debido a razones de recursos existentes y al no tener posibilidad de asegurar la misma probabilidad de ser elegidos los elementos de la población, se optó por considerar un estrato de la misma a la cual se tenía acceso. Así, se acotó la población de análisis a: todo profesional que se haya capacitado en DP por medio de la FIUNCuyo. Es decir, se utilizó una muestra de esta población. Los resultados obtenidos deberían limitarse a esta situación de contexto y cualquier extrapolación debe hacerse con mucha cautela.

De esta manera, acotada la población por medio del estrato seleccionado, se asegura que la

muestra sea probabilística a través de un proceso de recolección de datos vía web. Se considera que todos los integrantes de la muestra tienen la misma posibilidad de contestar el cuestionario porque: todos tienen competencias digitales, acceso a herramientas informáticas, dirección de correo electrónica en comunicación activa con la coordinación de la diplomatura en DP, y la encuesta tiene carácter institucional.

Así, se podía medir el error estándar y realizar estimaciones de variables de la población elegida. Por lo tanto, los elementos muestrales tienen valores muy parecidos a los de la población.

- **Instrumentos de recolección de datos**

El cuestionario diseñado debía ser confiable y válido, además asegurar que la registración de los datos observables, representen verdaderamente las variables de la investigación. Para la formulación del cuestionario, se tuvo en cuenta la información recopilada en los puntos anteriores (archivos y análisis secundario), de esta manera se tendría parámetros externos de comparación (Hernández Sampieri et al., 2014).

Para medir la confiabilidad (su aplicación repetida produce iguales resultados) se utilizó el coeficiente alfa de Cronbach, una vez realizada la encuesta.

La validez en general se refiere al grado en que un instrumento mide la variable que se pretende medir. En cuanto a la validez de contenido (reflejo del dominio específico de contenido) se evaluó por medio de la técnica de Lawshe (Lawshe, 1975). Para lo cual se efectuó la revisión por 8 expertos (esta cantidad de expertos, según Lawshe (1975), exige un coeficiente mínimo de validez de contenido superior a 0,75) de nivel medio y alto, que no se encontraban dentro de la base de datos de la población.

Se adoptó que cada ítem tuviera un coeficiente de validez de contenido superior a 0,85. Aquellos que no cumplieran con este criterio fueron reestructurados. No se efectuaron validez de criterio ni de constructo.

Además de hacer la prueba específica de Lawshe, se solicitó a los expertos que realizaran recomendaciones sobre:

- Claridad y relevancia de las preguntas.
- Si el número de preguntas es adecuado.

- Si el tiempo que toma contestar el cuestionario es o no apropiado.
- Uso apropiado de las palabras o vocabulario.
- Formato del cuestionario.

A partir de las sugerencias del panel de experto se realizaron modificaciones en algunas preguntas del cuestionario.

Una vez recolectados los datos se los procesó por métodos estadísticos y de análisis. A través de las tres fuentes de datos se efectuó una comparación para poder describir la situación de la CSC de la RCA. Sin llegar a un análisis de correlación que se realizará en el siguiente paso.

3.4.3 Estudio Correlacional

Con los datos obtenidos en el estudio descriptivo se verificó la correlación de las variables planteadas en las hipótesis. Por lo cual esta parte de la investigación es no experimental transversal correlacional (Hernández Sampieri et al., 2014). Este paso sirve como entrada al método de simulación.

Se trató de establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad. Las variables estudiadas son: LPI vs PBI per cápita y NS CSC vs rendimiento de proyectos. Para la realización de este paso se acudió a las herramientas de estadísticas por medio del software R.

3.4.4 Estudio Explicativo

En este paso se tratará de dar una respuesta a la validación o no de las hipótesis a través de la causalidad de la relación de variables por medio de métodos de simulación.

- **Método de simulación**

El modelado y análisis de simulación es el proceso de crear y experimentar con un modelo computarizado de un sistema físico. El sistema se define como una colección de componentes que interactúan y que reciben entrada y proporcionan salida para algún propósito. Este sistema se predefinió en el paso descriptivo con el modelo.

La simulación se utiliza para analizar el sistema con el set de datos obtenidos en el paso descriptivo y correlacional y de esta manera tomar decisiones sobre el abastecimiento de recursos de la CSC (Chung, 2004).

Todas las acciones producidas están encaminadas a la obtención de nuevos conocimientos y el establecimiento de las relaciones. Como elemento final de este trabajo, se obtiene un nuevo resultado que debe ser confrontado con la realidad del problema inicial.

La simulación es una herramienta importante para explicar cómo reaccionan los indicadores de desempeño de la SC ante factores controlables y factores no controlables del entorno. Por lo tanto, la simulación es un método experimental. Los experimentos pueden realizarse con diferentes valores de entrada y con varias estructuras de modelos de simulación (que representan varias políticas, etc.), consideradas como una caja negra (Campuzano & Mula, 2011). Cada cambio realizado en las variables de entrada requiere una solución separada o una serie de ejecuciones. Se debe validar con el sistema real.

La simulación no ofrece una solución cerrada, pero permite observar qué sucede con el resultado (análisis de sensibilidad) en términos de valores de entrada y estructura del modelo.

- **Objetivos de la simulación de la cadena de suministro**

Se plantea la simulación porque es costoso y poco práctico llevar a cabo esta simulación del SCM en la realidad. De esta manera se puede estudiar el desempeño del modelo y deducir las propiedades relacionadas con el desempeño real de la SC. El modelo debe representar adecuadamente la CSC (Chung, 2004).

Hay una serie de objetivos que se quiere lograr con esta simulación de la CSC:

- Generar conocimiento de la CSC.
- Comprender las relaciones claves entre los distintos nodos.
- Desarrollar y validar mejoras en la gestión del proyecto en relación con su CSC.
- Reproducir y probar diferentes alternativas basadas en decisiones.
- Cuantificar beneficios.

- **Tipos de simulación de la cadena de suministro**

Kleijnen y Smits (2003) distinguen entre los siguientes tipos de simulación para cadenas de suministro, extraído de Chung (2004):

- Simulación mediante una hoja de cálculo.
- Dinámica de sistemas. Puede demostrar el efecto *bullwhip*. También es útil para la gestión de la cadena, BPR (*Business Process Reengineering*).

- Simulación de la dinámica de sistemas con eventos discretos. Puede cuantificar los niveles de servicio, particularmente bajo incertidumbre, centrándose en una simulación analítica.
- Juegos de negocios. Pueden educar y entrenar a los usuarios ya que los jugadores son participantes activos en el mundo simulado. Además, pueden participar en la investigación para estudiar los efectos de los factores cualitativos (ej. el sistema de decisión) sobre los beneficios, etc. También son adecuados para un entorno virtual distribuido.

Para este estudio se utilizó el modelo conceptual, los datos analizados en los puntos anteriores y se definió un proyecto tipo. Este proyecto se analizó por medios de Métodos de simulación para análisis descriptivo (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020).

Como se menciona en la bibliografía la incertidumbre de las CSC forma parte de uno de los riesgos de la construcción. Las evaluaciones cuantitativas de los riesgos de los proyectos requieren el uso de modelos de rendimiento de los proyectos lineales o no lineales. Por ejemplo, el costo total del proyecto como uno de los indicadores más importantes del proyecto es simplemente la suma lineal de los costos del paquete de trabajo; del mismo modo, la duración del proyecto es la suma de las duraciones de las actividades en el camino crítico (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020).

Por otra parte, hay varios casos en que la evaluación cuantitativa del riesgo requiere modelos no lineales; por ejemplo, los modelos de costos paramétricos o los modelos basados en la productividad suelen ser no lineales (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020).

Hay muchos casos en los que la simulación de Monte Carlo es el mejor, o incluso el único, método, especialmente cuando el modelo es discontinuo, implica decisiones o no puede expresarse fácilmente en forma matemática cerrada. A continuación, se describirán tres métodos que se aplican para predecir resultados de proyectos.

3.4.4.1 Método Monte Carlo

Históricamente el Método de Monte Carlo fue descrito por Stan Ulam, John Von Neumann a partir de 1944 (Eckhardt, 1987). El método de simulación es esencialmente probabilístico y computacional, y es utilizado en los casos que existe mucha incertidumbre. En el modelo se

considera los datos como variables aleatorias. Por medio de un software se realizan una serie de experiencias con variaciones de datos y produce un conjunto de resultados, los que son representados en forma de distribución estadística. El resultado puede ser analizado estadísticamente para obtener una medida de incertidumbre y riesgo.

El método de simulación Monte Carlo para las aplicaciones de duraciones de proyectos de construcción han sido aplicados desde hace muchos años según la bibliografía (Serpell & Alarcón, 2001). Serpell menciona etapas para la aplicación del proceso de simulación Monte Carlo:

- Identificar las distribuciones de probabilidad de cada componente aleatoria del modelo.
- Seleccionar un proceso de generación de números aleatorio, que represente convenientemente el evento durante la simulación.
- Asegurar que los intervalos de números aleatorios correspondan a la distribución de probabilidad.
- Obtener los números aleatorios para cada corrida de la simulación.
- Transformar los números aleatorios en valores de los parámetros del modelo que utiliza las distribuciones acumuladas asociadas a estos parámetros.
- Calcular los resultados deseados, utilizando ciertos valores precedentes y aplicando el modelo de la simulación.
- Repetir los pasos varias veces para obtener una distribución confiable de resultados.
- Interpretar los resultados.

En la actualidad en la gestión de proyectos de construcción se utiliza para analizar los riesgos sobre cómo afectan algunos recursos las variables costo y tiempos. En la región de Cuyo se utilizan softwares: planillas de cálculos con aplicaciones como @Risk o Crystal Ball. Siendo una rama de estudio muy incipiente a nivel regional.

La simulación de Monte Carlo reemplaza al experimento físico, cuando éste no se puede realizar en la realidad. Pero los resultados se vuelven muy sensibles a los supuestos subyacentes del modelador. Por lo tanto, la selección el tipo de distribuciones de probabilidad y la determinación de la correlación entre las variables debe hacerse de manera rigurosa. Desafortunadamente, muchos ingenieros y analistas de riesgo se saltan este paso y proceden con el experimento de simulación asumiendo que las variables son normales y no están

correlacionadas (Damjanovic & Reinschmidt, 2020). Los errores más comunes en la simulación Monte Carlo son:

- Ignorar el efecto de la correlación entre las variables aleatorias simuladas
- El número de ensayos necesarios para lograr razonables límites de confianza en los resultados. La determinación del número de ejecuciones depende de los límites de confianza, que deben ser declarados explícitamente. Una forma de calcular el número de iteraciones es con la siguiente fórmula:

$$n = (k/\Delta p)^2 p (1-p)$$

n = es el número de iteraciones

k = es el intervalo de confianza obtenido de la tabla de la distribución normal (por ej. para un 95 % de confianza k = 1,96)

p = valor crítico de decisión (por ej. si se supone que un patrocinador quiere una probabilidad del 1 % o menos de que el proyecto falle – esto quiere decir que no se cumple con los criterios financieros o de otro tipo- entonces p= 0,01).

Δp = es la variación que se le permite a los valores de resultado con respecto al valor objetivo p (por ej. 10 % de p, por lo cual $\Delta p = 0,001$, lo que le otorga un intervalo $0,009 < p < 0,011$).

Para el ejemplo seguido n = 38.032 iteraciones.

Algunas consideraciones sobre el método, primero da resultados útiles en las colas sólo cuando un gran número de repeticiones se realiza.

- “En segundo lugar, con respecto a la utilización del Teorema del Límite Central indica que la distribución de probabilidad de una suma de variantes aleatorias independientes, de cualquier distribución de probabilidad, se aproxima a la Normal. Sin embargo, "cualquier combinación lineal de los elementos distribuidos normalmente, variables no necesariamente independientes, se distribuye normalmente" -Denrell 2004- por la propiedad de replicación de la distribución Normal. La cuestión se refiere a combinaciones lineales de variables en general, no necesariamente independientes y no necesariamente normal” (Damjanovic & Reinschmidt, 2020), traducción del autor.
- “Se han realizado experimentos donde las variables de las actividades han sido distribuciones simétricas o altamente asimétricas, con coeficientes de correlación

negativo, cero, o positivos. Dando valores de medias y de varianza semejantes a lo de una distribución normal. Por lo cual empíricamente, el Teorema del Límite Central parece dar buenas aproximaciones incluso cuando las variantes no son independientes. Y las buenas aproximaciones son todo lo que necesitamos aquí, porque las distribuciones de probabilidad del trabajo individual los costos de los paquetes son subjetivos para empezar” (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020), traducción del autor.

3.4.4.2 Método del Segundo Momento

Este método está diseñado para observar variabilidad o incertidumbre total del proyecto. El método del segundo momento da esencialmente las mismas respuestas que la simulación de Monte Carlo (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020). Pero este enfoque no se ocupa de las distribuciones de probabilidad completas, sólo utiliza las medias y las variaciones (los dos primeros momentos) para caracterizar incertidumbre. Este método no ofrece datos sobre las probabilidades en las colas de las distribuciones.

Pero se debe tener presente que en los proyectos se parte de información que provienen de estimaciones subjetivas de juicio de expertos o de datos escasos. Por lo tanto, puede ser innecesario realizar largas simulaciones o cálculos detallados cuando las entradas son, en el mejor de los casos, conocidas sólo hasta quizás dos dígitos significativos.

A continuación, se determinarán los valores que se utilizan en este método. Se supone un proyecto está formado por un número de actividades (p), y se estima calcular la duración o el costo del proyecto como una sumatoria de los valores individuales de las actividades. En la gestión de proyectos generalmente los expertos realizan estimaciones subjetivas sobre los parámetros de las variables costo y tiempo. A mayor información menor incertidumbre de la estimación.

Cada variable para cada actividad tiene una media $m = E[X_j]$ y un desvío estándar de $\sigma = E[(X_j - m_j)^2]^{0.5}$. El objetivo es encontrar una distribución de probabilidad para la sumatoria de estos términos.

- La suposición común es considerar que todas las variables de las actividades son estadísticamente independientes, lo cual no sucede en la realidad y puede dar lugar a estimaciones muy poco conservadoras del riesgo total. Por lo cual se debe utilizar el

coeficiente de correlación entre variable de actividades que se denominará ρ_{jk} (correlación entre las variables de las actividades j y k). Según esta consideración el método establece que:

- **Media de la variable total del proyecto** = $m_t = E[\sum X_j] = \sum E[X_j] = \sum m_j$ (para j de 1 a p)
- **Varianza de la variable total del proyecto** = $\sigma_t^2 = \sum_j \sum_k \rho_{jk} \sigma_j \sigma_k$ (para j de 1 a p y k de 1 a p)

Esta expresión es la suma de las varianzas y covarianzas. Esta matriz es una matriz simétrica, donde $\rho_{jk} = \rho_{kj}$. Por lo cual la expresión quedaría de la siguiente manera.

- **Varianza de la variable total del proyecto** = $\sigma_t^2 = \sum_j \sigma_j^2 + 2 \sum_j \sum_k \rho_{jk} \sigma_j \sigma_k$ (para el segundo término j de 1 a p -1 y k de j+1 a p)
- En el caso de independencia el segundo término es 0, por lo cual bajo esta consideración se subestima la varianza. Este método se resume en dos reglas:
 - La media de la suma es la suma de las medias
 - La varianza de la suma es la suma de las covarianzas.

Anteriormente se mencionó que este método sólo da los dos primeros momentos (la media y la varianza) de la variable en estudio, y no da una distribución de probabilidad específica sobre el total, ni tiene en cuenta la asimetría, la Kurtosis, ni otros momentos más altos. Por lo tanto, puede argumentarse, la simulación de Monte Carlo es necesaria para determinar la forma de la distribución de probabilidad y los valores en las colas.

- Los autores estiman que una distribución Normal, con la media y la varianza calculadas como se ha indicado anteriormente, es una aproximación razonable, que permite determinar toda la distribución de probabilidad, como los cuartiles de la cola superior, utilizando las tablas de la unidad normalizada Distribución Normal.

3.4.4.3 Modelos Basados en Agentes

Dentro de la bibliografía a los proyectos se los considera sistemas complejos - un sistema compuesto de numerosos componentes interactivos (individuos, proyectos, equipos) donde el comportamiento agregado es no lineal. Además hay una reconceptualización de los proyectos como entidades dinámicas, inciertas y complejas compuestas de individuos con

atributos (personas, organizaciones, etc.) y comportamientos únicos (Pires & Vieira, 2019). Tal visión de la gestión de proyectos apoya el cambio en el campo; desde el enfoque clásico que enfatiza la optimización y agentes racionalistas a uno que considera cuestiones de complejidad, incertidumbre, contexto social y organizacional y repensar la gestión de proyectos (RPM, *rethinking project management*) (Pires & Vieira, 2019).

El modelado basado en agentes (ABM) es un método computacional que permite el diseño de agentes autónomos, heterogéneos e interactivos, que muestran cada uno sus propias metas y objetivos, y que generalmente son capaces de interactuar entre sí y con su entorno (algunos pueden evolucionar). Esto lo realizan dentro de un ambiente "artificial", simulado. El modelador reconoce explícitamente que los sistemas complejos, y en particular los sociales, son producto de comportamientos individuales y de sus interacciones (Pires & Vieira, 2019).

“Las interacciones, pueden ser implementadas con un grado de sofisticación seleccionado por el modelador, lo que transforma al ABM como apropiado para crear modelos dinámicos de proyectos, equipos y organizaciones. Bajo este concepto se puede sostener que un enfoque ABM puede proporcionar ventajas claves para comprender y explorar temas relevantes en la gestión de proyectos” (Pires & Vieira, 2019), traducción del autor.

“En el ABM los componentes básicos del sistema real están explícita e individualmente representados en el modelo. Las fronteras que definen a los componentes básicos del sistema real se corresponden con las fronteras que definen a los agentes del modelo, y las interacciones que tienen lugar entre los componentes básicos del sistema real se corresponden con las interacciones que tienen lugar entre los agentes del modelo (Edmonds et al., 2001; Galán et al., 2008). Esta correspondencia directa contrasta con el tradicional uso de ‘agentes representativos’ y es capaz de aumentar el realismo y el rigor científico de los modelos formales así construidos” (Izquierdo et al., 2008), traducción del autor.

El ABM ha sido utilizado en el *project management* para simular proyectos, equipos, recursos, tareas y las interacciones entre estos y otros componentes relacionados con los proyectos. Con respecto a esta tesis también se encuentran aplicaciones para estudiar el diseño del flujo de trabajo, que incluye el flujo de información, los productos y los recursos (Pires & Vieira, 2019).

Otro tema importante a comprender es que el entendimiento del comportamiento de las

partes componentes no implica entender el sistema como un todo. Tampoco observando el conjunto, siempre podemos discernir las conductas subyacentes de los miembros individuales del sistema y las interdependencias entre los componentes del proyecto (Pires & Vieira, 2019).

También se pueden establecer enfoques híbridos que integran el ABM con la dinámica del sistema, la simulación de eventos discretos, o los enfoques estadísticos, según sea lo más apropiado (Pires & Vieira, 2019).

De la bibliografía los modelos basados en agentes son de lo más utilizados para estudiar las relaciones de los interesados en los proyectos. Por ejemplo, un enfoque basado en ANT (Actor - Teoría de redes) mejora el análisis y la participación de las partes interesadas en un proyecto al poner en evidencia la naturaleza dinámica y emergente de las relaciones.

Se demuestra que la naturaleza, los roles y las relaciones entre las partes interesadas evolucionan con la definición y trayectoria del proyecto. Lo que puede ser utilizado para mejorar su rendimiento (Missonier & Loufrani-Fedida, 2014).

Los ABM, por otro lado, tienen la capacidad de modelar agentes autónomos, heterogéneos e interactivos. En esta tesis los agentes pasan a ser los recursos o los proveedores de los recursos. Los cuales interactuarán según los comportamientos determinados en las etapas anteriores de la investigación.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO EXPLORATORIO Y

DESCRIPTIVO

4 CAPÍTULO - ESTUDIO EXPLORATORIO Y DESCRIPTIVO

4.1 Estudio Exploratorio

4.1.1 Juego de Negocio – Simulación

El juego se llevó a cabo durante siete años no consecutivos y en los últimos tres años se realizaron específicamente para esta tesis. Tal como se mencionó, la muestra estudiada está conformada por: participantes de la Diplomatura en Dirección de Proyecto de la FIUNCuyo. Además, se tomaron como datos sus edades (promedio de 33,7 años) y profesiones, (tabla 4-1). Donde se muestra un alto porcentaje de profesionales de la ingeniería.

INTEGRACIÓN DE MUESTRA POR PROFESIÓN (en %)

	2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
Arquitecto	4	17	6	8	4	9	16
Bioingeniero	--	--	--	4	--	2	--
Contador Público Nacional	4	--	--	--	8	7	4
Diseñador Industrial	--	--	--	--	4	7	--
Ecólogo	--	--	--	--	--	2	--
Experto en estadística y computación	4	--	--	--	--	--	--
Ing. Civil	4	4	9	--	23	26	4
Ing. Eléctrico	--	--	6	--	--	--	--
Ing. Electromecánico	9	13	17	8	4	--	16
Ing. Electrónico	4	8	3	8	8	4	4
Ing. En construcciones	--	--	3	--	--	--	--
Ing. En Informática	9	--	6	--	--	--	--
Ing. En petróleo	--	--	3	--	4	--	16
Ing. En recursos renovables	--	--	--	--	--	2	0
Ing. Industrial	48	29	37	38	15	15	28
Ing. Industrias alimentarias	--	--	--	--	--	2	--
Ing. Mecánico	--	--	--	8	4	--	--
Ing. Mecatrónica	--	--	--	--	4	--	--
Ing. Químico	--	--	--	4	--	--	--
Lic. En Administración	4	13	6	8	8	9	8
Lic. En bromatología	--	--	--	--	--	2	--
Lic. En comunicación social	--	--	3	4	--	--	--
Lic. En Cs. Políticas	--	--	--	4	8	--	--
Lic. En Economía	9	13	--	--	--	4	--
Lic. En RRHH	--	--	--	--	--	4	--
Lic. En telecomunicaciones	--	--	--	--	--	2	--
Lic. Sociología	--	--	--	--	4	--	--
Prof de matemática	--	4	--	--	--	2	--
Prof. De filosofía	--	--	--	4	--	--	--
Prof. En química	--	--	--	--	--	--	4
Psicólogo	--	--	--	4	--	--	--
Técnico en electrónica	--	--	--	--	4	--	--
Técnico Universitario en producción industrial	--	--	3	--	--	--	--

Tabla 4 – 1 – Profesiones de los participantes

Se realizaron las mediciones de los indicadores que se mencionaron en la metodología: NSI (nivel de servicio de los recursos internos), NSE (nivel de servicio de los recursos externos), RA (porcentaje de avance de la construcción) y TF (tiempo final a la terminación del proyecto). Los resultados obtenidos se observan en la tabla 4 – 2.

		RESULTADOS DE INDICADORES						
		GRUPOS						
		2010	2011	2012	2013	2016	2017	2018
PRIMERA INSTANCIA	NSE	71%	77%	72%	71%	70%	76%	69%
	NSI	83%	83%	86%	86%	86%	82%	83%
	RA	65%	79%	61%	73%	72%	77%	68%
SEGUNDA INSTANCIA	NSE	91%	96%	89%	94%	95%	98%	95%
	NSI	97%	99%	97%	99%	97%	100%	95%
	RA	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	TF	2,8%	0,0%	5,7%	0,7%	1,3%	-1,4%	2,1%

Tabla 4 - 2- Resultados Simulación Juego de Negocio

4.1.2 Casos de proyectos de la región

Se efectuó el seguimiento de los proyectos de una empresa ubicada en la provincia de Mendoza dedicada a la industria de la construcción. Se la puede categorizar como una empresa mediana de primer tramo con aproximadamente 65 empleados. Provee de estructura y cerramientos metálicos.

Tiene una facturación anual promedio de 2.000.000 de dólares. Los proyectos que realiza tienen un presupuesto aprobado que se encuentra en un rango entre 100.000 y 500.000 dólares.

Aproximadamente el 60 % de las obras se realizan en Mendoza, 30 % en San Juan y San Luis y 10 % en otras provincias argentinas. Casi el 85 % de los proveedores son de origen regional (específicamente Mendoza) y el resto (15 %) son de origen nacional.

Se destaca que estos últimos –proveedores de origen nacional- en general representan entre el 50 al 60 % del costo de todas las adquisiciones, debido a que son los proveedores del material principal de esta empresa (productos de acero estructural). Esta empresa subcontrata solo los servicios de alquiler de grúas especiales y transportes.

Para la medición se consideró el NS del conjunto de proveedores. Solo se observó cualitativamente si tenían o no influencia sobre los resultados, no se pudo determinar cuantitativamente el valor de su incidencia sobre el rendimiento del proyecto. A continuación, se presentan los resultados en la tabla 4-3.

PROYECTO N°	NS	Afecta el rendimiento del proyecto
1	83%	SI
2	65%	SI
3	66%	SI
4	60%	SI
5	72%	SI
6	55%	SI
7	93%	NO
8	63%	SI
9	61%	SI
10	45%	SI

Tabla 4 - 3 – Resultados Casos

NOTA: durante el período de estudio hubo una interrupción de la cadena de abastecimiento

debido a causas políticas. A partir del resultado de las elecciones primarias del 11 de agosto de 2019 en Argentina la CSC sufrió una parálisis de aproximadamente 15 días. Este hecho produjo que los proveedores restringieran al mínimo la entrega y la venta de bienes. La gravedad de la disrupción llegó al punto que proveedores de gran poder de negociación (monopolio) suspendieron entregas de materiales que ya estaban pagados.

Uno de los indicadores que pone de manifiesto esta inestabilidad político-económica-social, es el índice riesgo país (EMBI, elaborado por JP Morgan). Se podría interpretar sencillamente que es un indicador de la medida de que tan solvente es un país para pagar la deuda internacional, causada por causas internas al país en estudio. En la figura 4-1 se muestra la variación de este índice en Argentina.

Se visualiza que en el momento de la disrupción de la CSC este índice tuvo una variación del 100 %. Esta situación también podría tenerse en cuenta en el modelo predictivo.



Figura 4 - 1 Variación de índice Riesgo País 8/19 - Argentina

4.1.3 Discusión

Los resultados del juego de negocios, pone en evidencia el contraste de una SC con o sin comunicación y coordinación, lo cual se relaciona con la teoría de juegos cooperativa o no cooperativa. Se simuló una situación de no cooperación y posteriormente de cooperación coordinada, lo que produjo una mejora de los efectos finales. De la observación de los resultados se puede concluir que con el conocimiento de la red y su coordinación, asociados a un trabajo cooperativo, se pueden obtener mejores rendimientos de los proyectos. Si bien el modelo simulado es un recorte de la realidad, donde se han eliminado varios aspectos que no se consideraron en el estudio, los resultados son orientativos y coinciden con la realidad del día a día de la construcción regional.

Este juego se ha ejecutado en distintos escenarios dentro de Latinoamérica (otros contextos y países), los resultados han sido semejantes (no se incluyen en esta investigación), lo cual manifiesta cierto comportamiento similar entre distintos tipos de muestras e induce a la validez de su aplicación.

Con respecto a los grupos de la muestra se puede decir que los promedios de edad están entre los 31 y 38 años, y que existe una heterogeneidad de profesiones (si bien hay un alto porcentaje de profesionales de ingeniería). Estos datos se obtuvieron para caracterizar la muestra, sin ser el objetivo establecer algún tipo de relación, pero sí dar un contexto de la muestra para otras investigaciones.

Es importante destacar que de los resultados obtenidos se debe mencionar que para obtener rendimientos TF negativos (lo que significa que el proyecto se termina antes del tiempo máximo estipulado), es necesario que los niveles de servicios de los proveedores externos-internos sean cercanos al 100 %, situación muy difícil de obtener en la realidad. Entre la primera y segunda instancia se observa que los valores de NS varían entre el 70 al 100 %, lo que muestra una gran dispersión de resultados que se relacionan con la coordinación y planificación. Esta dispersión del NS de los proveedores induce a suponer que es la que afecta a los rendimientos de los proyectos.

Cuando se estudia el caso de proyectos de la región, se puede observar en general un bajo NS de los proveedores y se presenta también la dispersión antes mencionada con valores promedios mínimos y máximos de 45 % y 93 % respectivamente. Como en el juego de simulación en este caso también se necesitan NS elevados para no producir efectos significativos en el rendimiento del proyecto, lo cual se observa en el caso de un NS 93 %.

Los resultados de este estudio exploratorio muestran una relación entre los NS de los proveedores del proyecto y el rendimiento de los mismos. También se puede asociar esta influencia a la coordinación, cooperación y planificación de la CSC. Estas demostraciones permiten concluir que en la RCA (caso Mendoza) el rendimiento de la CSC afecta el rendimiento de los proyectos. Esta conclusión es semejante y verifica lo que se había observado en el marco teórico para otras regiones. Además, da indicios de la existencia de una relación entre dispersión del NS con el rendimiento de los proyectos. Esta situación habilita a continuar con el estudio descriptivo.

4.2 Estudio Descriptivo

4.2.1 Modelo Conceptual

Una cadena de suministro bien estructurada es de importancia fundamental para lograr que

trabajen eficientemente los integrantes de la SC. En la bibliografía se suele suponer que se da la estructura de red física de la cadena de suministro, y el objetivo es minimizar (maximizar) el costo (beneficio) de todo el sistema mediante el movimiento de mercancías mejor planificado a través de la cadena. Sin embargo, la estructura de red física de una SC puede influir normalmente en su rendimiento y, por lo tanto, en la competitividad de un proyecto (Farahani et al., 2009).

La fase de diseño de la red de la SC de un proyecto incluye decisiones estratégicas. Estas decisiones tienen dos ámbitos: el lugar de emplazamiento y los proveedores externos. Una vez que se determina la configuración física de la cadena de suministro, el centro de atención se desplaza a las decisiones de nivel táctico y operacional. Pero, la toma de decisiones estratégicas son las que presentan grandes deficiencias en los proyectos de construcción.

La etapa estratégica de diseño de una red de abastecimiento de proyecto de construcción en la RCA no tiene una visión integral e integrada (Tapia & Phillipott, 2012). En esta etapa se deben responder algunas preguntas como:

- ¿Cuáles son las condiciones del emplazamiento?
- ¿Cómo es el urbanismo e infraestructura de la zona de emplazamiento?
- ¿Qué servicios asociados hay en la zona?
- ¿Cuáles son los potenciales proveedores regionales?
- ¿Cuál es el modelo de negocio adoptado para el proyecto?
- ¿Cuál es el stock de materiales e insumos en los proveedores?
- ¿Qué porcentaje de los proveedores son regionales y cuáles no?

En la bibliografía se observa distintas formas de modelos de diseño de redes, que son los modelos clásicos (Farahani et al., 2009). Se pueden mencionar algunos como: el modelo básico (común, con capacidad, con consideración de servicio), modelo de escenarios con incertidumbre, red de circuito cerrado, red internacional. Pero estos modelos se centran en la distribución de ciertas mercancías desde uno o varios puntos de producción a uno o varios puntos de consumo.

En el caso de los proyectos bajo análisis la situación es distinta. Generalmente hay un lugar de emplazamiento donde convergen los proveedores externos e internos de una organización principal, el proyecto debe adaptarse a SC existentes de cada uno de los proveedores y se

puede decidir qué proveedores utilizar. Por lo cual desde este punto de vista se desarrolla el modelo conceptual, aplicado a la construcción.

En el estudio de la conformación de la red de abastecimiento de un proyecto hay varios aspectos a tener en cuenta. Entre ellos se puede mencionar: tipo de industria donde se realiza, modelo de negocio, proveedor principal y tercerizaciones (tipos de empresas), localización de proyecto, entorno, entre otros. A continuación, se desarrollan los aspectos que se consideran más relevantes.

4.2.1.1 Red de abastecimiento del proyecto (PSN)

La red de abastecimiento de los proyectos bajo estudio tiene las siguientes características:

- **Única:** asociada al producto del proyecto y a la temporalidad.
- **Temporal:** asociada a la duración del proyecto.
- **Entorno dependiente:** asociada a las características de la región del lugar del emplazamiento del proyecto.
- **Convergente:** asociada a la concurrencia de SCs al emplazamiento del proyecto.

Para la definición del modelo primero se definirá en qué parte de la CSC se planteará el análisis. Por lo cual de la CSC propuesta por Vrijhoef se definen dos zonas:

- La zona de concepción del proyecto formada por cliente, diseñadores, ingeniería. Proveedora de información básica del alcance del proyecto. El contratista principal puede o no estar integrado a esta zona, lo que se tratará posteriormente.
- La otra zona está formada por un contratista, subcontratistas, proveedores y el sitio de producción (o emplazamiento).

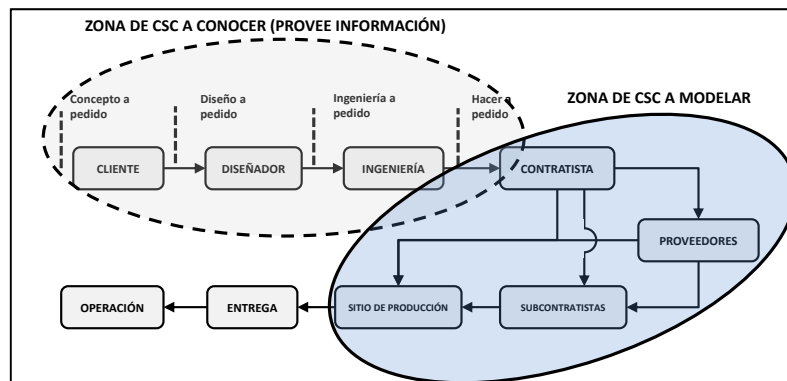


Figura 4 - 2 – Zonas de la CSC, adaptado de (Vrijhoef, 2011)

Para esta segunda zona se definen dos redes de abastecimiento:

- **La red interna:** delimitada por los contornos físicos del sitio del proyecto y que es gestionada por el contratista que dirige el proyecto. Generalmente se la gestiona con los conceptos de la logística interna a las organizaciones. Está constituida por una red de nodos y transportes que debe gestionar la organización principal, ajustándose a las restricciones que existan en el proyecto (topográficas, técnicas, legales, ambientales, económicas etc.) y a los proveedores seleccionados.
- **La red externa:** formada por los proveedores y recursos que incorpora el contratista principal después de la contratación. En el marco teórico se mencionó que, el contratista subcontrata una gran parte de los trabajos y recursos que son necesarios para el proyecto. Estos proveedores que ingresan al proyecto influyen en el rendimiento final del mismo. Esta red es un conjunto de SC de distintos comportamientos que concurren al espacio físico del proyecto.

En general estas dos sub-redes de abastecimiento, tienen comportamientos diferentes debido a la posibilidad de acción que se tiene sobre ellas. Además, varían de proyecto en proyecto, esto la diferencia de los comportamientos estándares que se tienen en otros tipos de industria.

Para un mismo proyecto se pueden definir diferentes redes de abastecimiento, según el contratista, los subcontratistas y proveedores seleccionados. Se debería poder establecer cuál es la más conveniente para el proyecto. A continuación, se representa esta situación por medio de un diagrama simplificado.

Para poder obtener un modelo que pueda predecir el rendimiento del proyecto, será necesario encontrar parámetros que caractericen cada nodo y transporte.

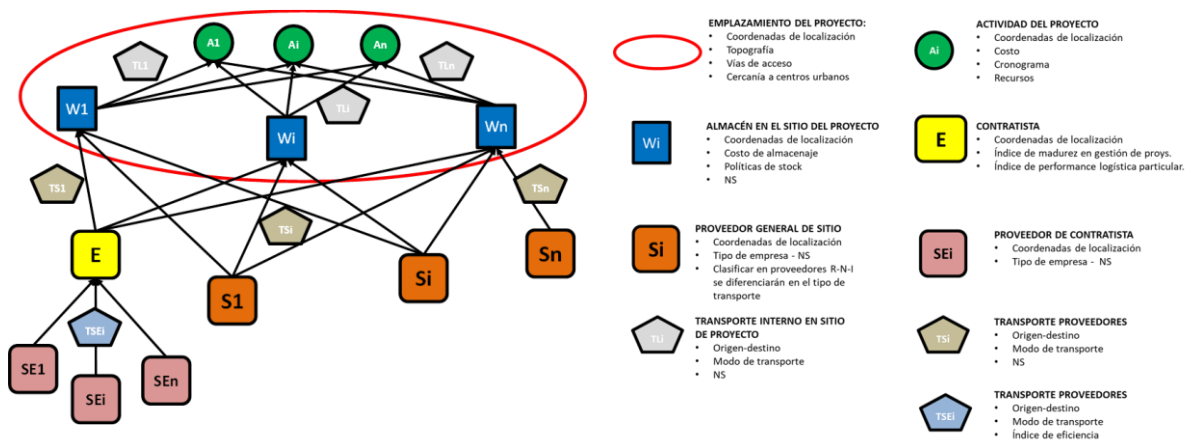


Figura 4 - 3 - Red de Abastecimiento del Proyecto (PSN) Modelo conceptual de red de nodos y transportes para un modelo simplificado de abastecimiento de recursos en un proyecto (ver pág. 328 Anexo VII)

A continuación, se describen diferentes temas asociados a este modelo:

4.2.1.2 Tipología de empresas que se pueden presentar en el conjunto de proveedores

Dentro de la caracterización de la red de abastecimiento se puede mencionar que se identifican cuatro tipologías principales de empresas, las cuales se mezclan en la cadena según el tipo de proyecto. Se analizan estas empresas desde el punto de vista de la dinámica de los procesos logísticos (Gambino, 1999), estas son (Tapia & Phillpott, 2012):

- **Estudios de diseño (servicios de ingeniería):** son empresas que adquieren insumos básicos. Su principal recurso son las personas. Es fundamental que el flujo de información sea lo más eficiente posible. Se aplican estrategias de información.
- **Empresas basadas en proyectos (contratistas o subcontratistas):** se caracterizan por tener una importancia preponderante la logística de abastecimiento, dado que los proyectos que ejecutan entre el 40 al 50% del costo son materiales (el nivel de externalización puede ser mayor si se subcontratan servicios). En lo que respecta a aprovisionamiento y distribución son dos ciclos que se entremezclan y también tienen relativa preponderancia. Se aplican estrategias de proceso e información.
- **Distribuidores y comerciantes** (empresas comerciales, no producen transformación). Las operaciones se caracterizan por la compra, tráfico de entrada, control de inventarios, almacenamiento, recolección de pedidos y envíos. Tienen solo dos ciclos logísticos abastecimiento y distribución. Se aplican estrategias de mercado.

- **Proveedores de bienes** (empresas industriales, producen transformación): su abastecimiento es bastante importante dado la cantidad de insumos que adquieren para luego agregarles un valor relativamente alto. Los tres ciclos son importantes al momento de diseñar una estrategia. Se aplica principalmente estrategia de procesos, mercado e información.
- **Industrias de extracción** (producen materias primas básicas, ejemplo industria maderera, minería, etc.). Las operaciones logísticas incluyen asegurar una diversidad de bienes en las operaciones de extracción (equipos fundamentales y suministro para las operaciones). El abastecimiento y la distribución son las actividades principales de la logística. Principalmente, se aplican estrategias de proceso y distribución.

Esta caracterización ayuda a comprender cómo son los parámetros de comportamiento de los diferentes nodos que se analizan en el modelo. En la figura 4-4 se observa la dinámica de los procesos logísticos.

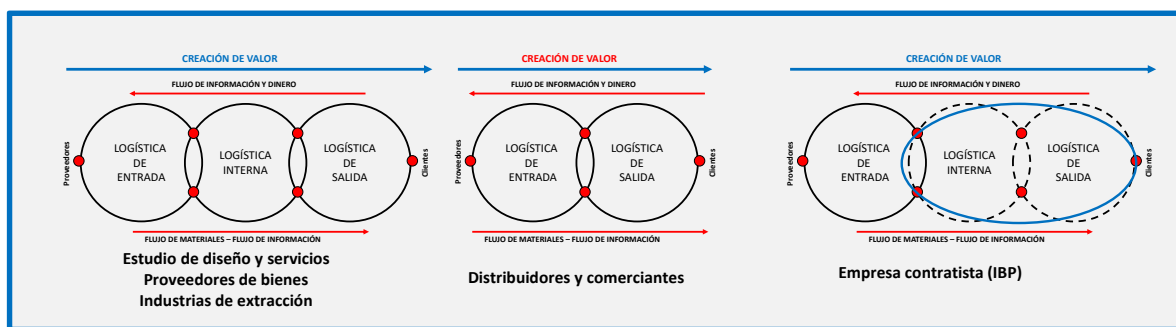


Figura 4 - 4 Dinámica de los procesos logísticos, extraído de Tapia & Phillpott (2012) (ver pág. 329 Anexo VII)

4.2.1.3 Modelo de negocio

El modelo de negocio se plantea desde la perspectiva de cómo se realizará el proyecto. Qué tan integradas están las fases de diseño, ingeniería, fabricación y montaje, en un proveedor principal o en varios proveedores. La integración del modelo de negocio impacta directamente en la coordinación (información-comunicación) de la ejecución de los proyectos. La mayor integración supone una mejor coordinación. Por lo cual según la perspectiva que tome el proyecto se podrá establecer un nivel de dificultad de realización del mismo por la forma del modelo del negocio, lo cual debería tenerse en cuenta. Tema mencionado en el apartado 2.7 y figura 2-10.

4.2.1.4 Zonas de influencia según la ubicación

Los proyectos analizados tienen un lugar de emplazamiento físico donde se ejecutan (sitio de producción). Es importante remarcar que hay sectores industriales que tienen emplazamientos fijos y otros en el que varía según el proyecto. En el caso de la construcción este emplazamiento varía para cada proyecto. El sitio de producción está condicionado por un entorno. Además, la red de proveedores también puede pertenecer a este entorno u otro. Esta circunstancia hace que cada red sea distinta en cada proyecto y además se pueden plantear distintas redes porque dependen de la

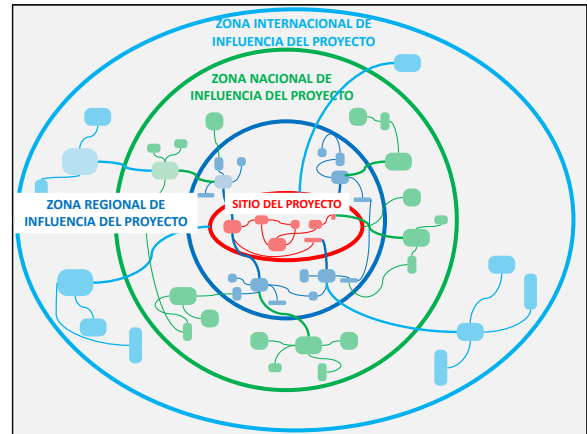


Figura 4 - 5 - Zonas de influencia del proyecto

selección de proveedores que se realice. Por lo cual se debe caracterizar correctamente los entornos del proyecto y de los proveedores (figura 4-5).

Esta caracterización está asociada a aspectos similares y compartidos, dependiendo del lugar donde pertenecen los proveedores. Por ejemplo, su país de origen. A continuación, se realiza un cuadro comparativo de las distintas zonas (tabla 4 – 4).

	SITIO DE PRODUCCIÓN	ZONA		
		REGIONAL	NACIONAL	INTERNACIONAL
RELACIÓN CON EL PUNTO DE PRODUCCIÓN DEL PROYECTO	Es el punto de producción.	Zona de influencia entre 200 a 400km del entorno del proyecto.	País donde se ejecuta.	Proveedores intervinientes a nivel internacional.
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	Topografía, urbanismo, clima, instalaciones, infraestructura, etc.	Infraestructura y servicios logísticos asociados. Situación social-económica y política	Infraestructura y servicios logísticos. Situación social-económica y política	Comercio exterior y transporte internacional. Situación social-económica y política
RED DE ABASTECIMIENTO	Interna. Organización interna y coordinación del contratista principal con el resto de los proveedores.	Externa. Sólo se puede seleccionar los proveedores de primer nivel. Se requiere conocimiento del mercado y adaptación a las condiciones existentes.		
ORIGEN DE LOS RECURSOS	Empresa principal y algunos proveedores de primer nivel.	Proveedores de diferentes niveles		

Tabla 4 - 4 – Características de las zonas de influencia

Del estudio de zonas de influencia del proyecto se puede concluir que se debería considerar solo proveedores de primer nivel en relación con el emplazamiento del proyecto o del contratista. De estos proveedores generalmente se puede obtener información, además son

el reflejo del NS hacia aguas arriba de la SC a la que pertenecen. Las SC asociada a cada uno de estos proveedores habitualmente no son visibles desde la perspectiva del contratista o del cliente.

Para predefinir la red de abastecimiento del proyecto se deberán establecer indicadores que permitan predecir su rendimiento. Se deberán buscar indicadores directos e indirectos. Estos indicadores estarán relacionados con las características socio-económicas-políticas regionales. Por lo cual estas zonas y proveedores (sin ser aún definidos para el proyecto) podrán ser caracterizados en NS de logística y proyectos por medio de datos indirectos. Lo cual ayudará en la predicción de las posibles simulaciones de escenarios.

4.2.1.5 Propuesta de diagrama conceptual.

A través del siguiente diagrama conceptual se resume los antecedentes, la discusión de los mismos y las consideraciones de la investigación. Este diagrama contiene los elementos que se consideran necesarios para definir un modelo predictivo para esta tipología de proyectos.

Se hace foco en que para cumplir con los objetivos de un proyecto es necesario un conjunto de recursos previstos y provistos de forma correcta. Estos recursos son los que necesitan las actividades del proyecto. Considerando a la actividad como un conjunto de tareas, siendo la tarea la unidad de mínima expresión para realizar un proyecto.

El diagrama que se propone tendrá los componentes bases de un proceso: entradas, herramientas y salidas. En la figura 4-6 se observan los distintos componentes.

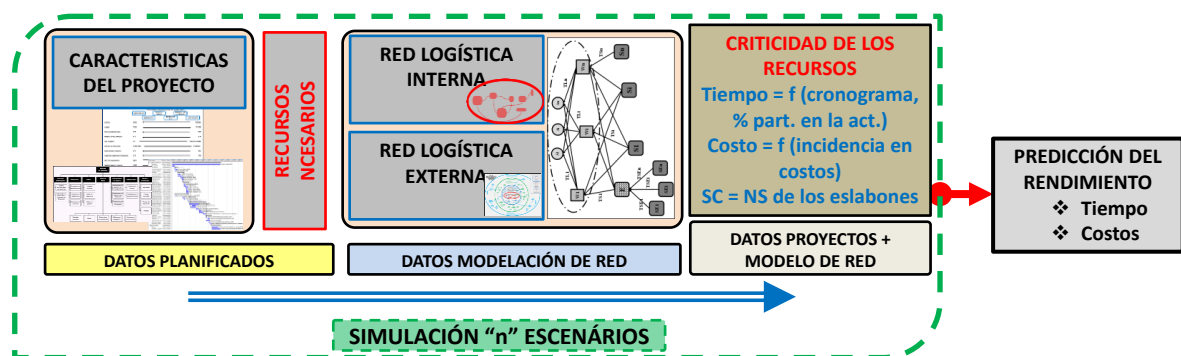


Figura 4 - 6 – Modelo Conceptual para Simulación de PSN

❖ Entradas

Dentro de la información de entradas se encontrarán algunas que son fijas y otras que se deben o pueden tomar decisiones para modelar el proyecto. Según el estado de avance del

proyecto será las decisiones que se puedan tomar y cuáles parámetros ya están definidos como fijos. A continuación, se detallan cada uno de los componentes.

- **Características principales del proyecto:** objetivos, producto, sector industrial, integración del modelo de negocio, sitio de producción.
- **Alcance – Costo – Tiempo:** Es la triple restricción del PM. Pueden quedar definidas dentro de los objetivos del proyecto. Son los parámetros rectores de todo proyecto, una vez definidos se deben cumplir.
- **Contratistas (la organización a cargo de ejecutar el proyecto):** es la empresa que dirige el proyecto, es la encargada de modelar la red de abastecimiento. Su madurez en PM afecta el rendimiento del proyecto (PMI, 2018).
- **Recursos:** pueden ser internos o externos a la organización a cargo del proyecto. La determinación de la cantidad de recursos depende del proyecto. Lo importante es identificarlo con las actividades que lo necesitan. De ellos dependerá la determinación de los proveedores (se deben definir cuáles son internos y/o externos).
- **Características de la red de abastecimiento:** según como se modele esta red, serán sus características. Está asociada a los proveedores elegidos de las diferentes zonas de influencia y sus respectivos transportes. Se debe utilizar valores de indicadores para poder determinar su rendimiento.
- **Impacto directo e indirecto de los recursos en el resultado:** la disponibilidad, costo y la calidad de los recursos impactan directamente en el resultado del proyecto (restricción triple). Cada recurso tendrá su criticidad en tiempo, costo, y su influencia según el NS. Se supone que el alcance del proyecto no varía y la criticidad en calidad no se estudiará en esta investigación.

❖ Herramientas

Se deben definir las herramientas de simulación más adecuadas para poder procesar la información suministrada por las entradas. Esto se realizó en el estudio explicativo.

❖ Salidas

Por medio del planteo de distinto escenarios, el modelo simulado deberá entregar los posibles rendimientos predictivos en costos y tiempos del proyecto.

Este modelo conceptual ayuda a describir qué es y cómo se comporta en forma simplificada una red de abastecimiento de los proyectos estudiados. En las siguientes secciones se trata de describir a través de indicadores los diferentes actores.

4.2.2 Recolección de Datos

4.2.2.1 Archivos

Para poder describir, comparar y referenciar los proyectos, es necesario medir y contar con indicadores. En esta parte se propone la búsqueda de indicadores medidos por organismos internacionales. En el apartado anterior se mencionó que, el sitio de emplazamiento y el origen de los proveedores pueden ser de diferentes regiones, por lo cual se necesita contar con indicadores de diferentes países o regiones. En la metodología se indicó cuáles serían las fuentes consultadas.

Aquí sólo se mencionan qué indicadores se recolectaron desde el punto de vista económico y social, se hace foco en los indicadores logísticos y de proyectos.

Indicadores económicos y sociales

Los indicadores seleccionados fueron del año 2016, dado que en el momento de inicio de la búsqueda eran los más completos. La base de datos que se conformó contiene los siguientes indicadores: población, población económicamente activa, superficie, PBI, ingresos según las diferentes actividades económicas, índices de corrupción, infraestructura, índice de competitividad, calidad y nivel de servicio de los proveedores. La tabla de valores para los países relevados se encuentra en el Anexo II. A continuación, sólo se hará un extracto y referenciación de los indicadores de logística y proyectos específicamente.

Indicadores logísticos

- ***Fuente 1 (F1) LPI-World Bank***

Dentro de los indicadores logísticos globales se encuentra el “*Logistics Performance Index*” (LPI) es un índice medido por el WB desde 2007. Su conformación está dada por seis dimensiones, a saber:

- Aduanas: la eficiencia del proceso de despacho.
- Infraestructura: calidad de la infraestructura relacionada con el comercio y el transporte.
- Transporte internacional: capacidad de organizar envíos a precios competitivos.
- Competencia logística: competencia y calidad de los servicios logísticos.
- Seguimiento y rastreo: capacidad de seguimiento y rastreo sus envíos.
- Puntualidad: realizar los transportes a la hora programada (Arvis et al., 2018).

El mismo WB establece que el uso de los datos de LPI requiere precaución, ya que se basan en una encuesta en línea que combina las opiniones de la comunidad mundial de logística y transporte de carga. Para evitar conclusiones demasiado simplistas se establecen instrucciones detalladas sobre cómo usar, y cómo no usar, los datos de LPI para diversos fines.

El LPI utiliza técnicas estadísticas estándar para agregar los datos en un solo indicador que se puede usar para comparar países, regiones y grupos de ingresos. Debido a que los operadores en el terreno pueden evaluar mejor los aspectos vitales del desempeño logístico, el LPI se basa en una encuesta en línea de profesionales de logística de las compañías responsables de mover mercancías en todo el mundo. Los agentes de carga y los transportistas están mejor posicionados para evaluar el desempeño de los países. Sus puntos de vista son importantes porque afectan directamente la elección de las rutas de envío y las puertas de enlace, lo que influye en las decisiones de las empresas para ubicar la producción, elegir proveedores y seleccionar los mercados objetivo. Su participación es, por lo tanto, fundamental para la calidad y credibilidad del LPI (Arvis et al., 2018).

Como encuesta, el LPI está sujeto a errores de muestreo, opiniones divergentes de los encuestados y variaciones de la base de encuestados de un informe de LPI a otro. Por lo cual es importante verificar el intervalo de confianza (IC) de las puntuaciones de LPI de un país antes de emitir un juicio más profundo (Arvis et al., 2018).

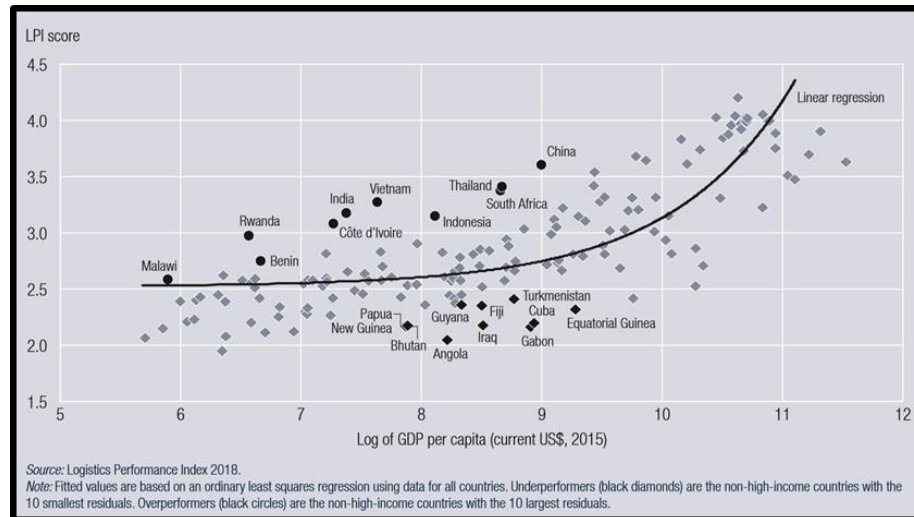


Figura 4 - 7 – LPI – Log PBI, extraído de (Arvis et al., 2018)

Un análisis realizado por el WB se establece que todavía hay una brecha notable en los puntajes de LPI entre los países de ingresos altos y bajos (ver figura 4-7). Además, países como China, India, Ruanda, Tailandia y Vietnam superan a sus pares del grupo de ingresos. Es por eso que el ingreso por sí solo no puede explicar por qué el rendimiento varía ampliamente entre los países en ciertos grupos de ingresos. Por otro lado, los países en su mayoría ricos en recursos naturales (Angola, Gabón, Guinea Ecuatorial, Irak y Turkmenistán) tienen un desempeño inferior al de sus pares de la misma gama de ingresos (Arvis et al., 2018).

A pesar de ser la fuente de datos más completa para la logística del país y la facilitación del comercio, el LPI tiene dos limitaciones importantes: los datos obtenidos por la experiencia de los transportistas y operadores internacionales y los desvíos en los países sin litoral marítimo y pequeños estados insulares (Arvis et al., 2018).

Havenga sostiene que un sistema logístico eficiente y su desempeño son factores claves del crecimiento económico sostenible, por lo cual la relación entre el desempeño logístico y el nivel de desarrollo económico de un país se vuelve relevante. Además Ben Shepherd considera que existen numerosas conexiones directas e indirectas entre el sector logístico, el crecimiento económico y el desarrollo (Bîzoi & Sipos, 2014).

Una investigación realizada a los países de la UE-28, se observa claramente que el desarrollo de la logística está altamente relacionado con el nivel general de desarrollo de un país. Pero se aclara que el nivel de ingreso de un país por sí solo no explica todos los diferentes niveles de desempeño logístico, ya que la política también es un factor relevante (Bîzoi & Sipos, 2014).

Existe también evidencia de la relación directa entre los sistemas logísticos, la infraestructura y el impacto de la política económica del país con el crecimiento de la economía. Los principales factores del impacto de los sistemas logísticos en el crecimiento económico del país podrían incorporarse a través de los niveles de desarrollo de los sistemas logísticos y su infraestructura, el impacto del entorno empresarial, la movilidad y el uso efectivo de los recursos, la flexibilidad logística y la receptividad a las innovaciones (Navickas, V. et al., 2011).

Un estudio a partir de datos de 113 países (LPI y sus componentes) por medio de regresión demuestra el nivel de calidad de la infraestructura ferroviaria y la infraestructura portuaria, que son los principales determinantes del desempeño logístico de los países (Khan et al., 2017). Otro estudio de características similares establece que los efectos de la aduana y la infraestructura son estadísticamente los más importantes, en la relación LPI-PBI (Uca et al., 2015).

Otra variable a tener en cuenta entre la relación entre el LPI y el PBI es la inversión extranjera (IED). Del resultado de los análisis realizados se considera estadísticamente significativo que existe un efecto mediador de la IED en la relación entre LPI y PIB (Çelebi et al., 2015).

Otros autores estudian el efecto mediador del LPI en la relación entre el Índice de Percepción de la Corrupción (IPC) y el Volumen de Comercio Exterior (FTV). Según los resultados del análisis, el efecto mediador del LPI en la relación entre el IPC y la FTV es estadísticamente significativo. Por consiguiente, se podría sugerir que la capacidad logística de un país desencadena la relación entre la corrupción y el comercio exterior (Civelek et al., 2015).

En la bibliografía se afirma que la relación de los factores económicos y sociales con el desempeño logístico de los países, es muy importante para su competitividad. El análisis de los resultados muestra que, contrariamente a lo esperado, los indicadores sociales están más relacionados con el desempeño logístico que con los económicos. Los altos niveles de indicadores políticos (como la estabilidad política, la eficiencia del gobierno, la calidad regulatoria y el nivel de democracia) y los indicadores sociales (como los años esperados de escolaridad y el ingreso nacional bruto) permiten a los proveedores de servicios logísticos operar sin problemas y formalmente en estos países. Las altas inversiones en transporte no siempre significan un rendimiento logístico de alto nivel (Guner & Coskun, 2012).

En consonancia a lo planteado por las investigaciones anteriores se establece que es

importante comprender la relación entre el desempeño logístico, la competitividad y la prosperidad de un país.

Una de las aplicaciones que se encuentra en la bibliografía es el efecto moderador del Índice de Competitividad Global (GCI) en las dimensiones del índice de rendimiento logístico. De acuerdo con el resultado de esta investigación, si un país se quiere dirigir al nivel más alto en el índice GCI, debe realizar importantes mejoras en las siguientes dimensiones de los servicios logísticos: transporte internacional, seguimiento y rastreo y puntualidad, parámetros considerados en el LPI (Çemberci et al., 2015).

Relacionada con la investigación anterior se ha utilizado un modelo explicativo de regresión lineal con el objetivo de analizar el papel mediador del LPI en la relación entre el Índice de Competitividad Global (GCI) y el Producto Interno Bruto (PIB) (de 2007 a 2014 en 28 países de la Unión Europea). Esta investigación establece que el efecto del LPI en la relación entre el GCI y el PIB es estadísticamente significativo. Se afirma que el LPI es un buen predictor del rendimiento del PBI (Vittorio D'aleo, 2015).

Otro aspecto relacionado con la economía y los rendimientos logísticos es el impacto del desarrollo de la fuerza laboral calificada. Por lo tanto, la inversión realizada en recursos humanos en el sector logístico ayuda a los proveedores de servicios logísticos y a sus clientes en términos de un mejor desempeño logístico y mayores beneficios (Jhawar et al., 2014).

Sin embargo, hay evidencia que objeta la metodología del WB con respecto al LPI. Dado que en este momento los diferentes indicadores que conforman el LPI se consideran igualmente importantes cuando se calcula el puntaje general del índice. Lo que según estos autores parece muy poco probable dentro del complejo sistema logístico. Por lo cual esta investigación asigna ponderaciones a los seis componentes mediante el método Best Worst Method (BWM), un método de análisis de decisiones de criterios múltiples.

Además de un cuestionario entre 107 expertos de diferentes países encontró diferencias significativas con los mismos pesos utilizados en el LPI actual. La infraestructura se considera el componente más importante para el desempeño logístico, con un peso de 0.24, más del doble que el seguimiento y el rastreo, que se considera el factor menos importante, con un peso de 0.10 (Rezaei et al., 2018).

○ **Fuente 2 (F2) World Economic Forum (WEF)**

Además del LPI se pueden obtener indicadores logísticos de otras organizaciones. Por ejemplo, el World Economic Forum (WEF), se puede obtener indicadores de infraestructura y desempeño de proveedores.

El Foro Económico Mundial es la Organización Internacional para la Cooperación Público-Privada. El Foro involucra a los principales líderes políticos, empresariales, culturales y otros líderes de la sociedad para dar forma a las agendas globales, regionales e industriales. En este caso se obtuvieron los indicadores de infraestructura y desempeño de proveedores, publicados en 2016 (WEForum, 2018).

A continuación, se presenta una tabla con los indicadores logísticos dados por el WB LPI como promedio de las mediciones de los años 2010-2012-2014 y 2016. Además se muestran indicadores en infraestructura y nivel de servicio de los proveedores, obtenidos del WEF (WEForum, 2018) tabla 4-5.

	LPI		WORLD ECONOMIC FORUM	
	GLOBAL	INFRAESTRUCTURA	INFRAESTRUCTURA	PROVEEDORES
AMÉ. LAT.	53%	48%	----	----
ARGENTINA	60%	57%	51%	54%

Tabla 4 - 5 – Comparación de indicadores Logísticos para América Latina y Argentina

Indicadores de proyectos

○ **Fuente 3 (F3) Pulse of the Profession® de PMI, (PMI, 2018)**

El Project Management Institute realiza desde 2006, la publicación Pulse of the Profession® de PMI, (PMI, 2018) que es la principal encuesta mundial de profesionales que brindan servicios de gestión de proyectos, programas o carteras dentro de organizaciones globales.

La edición 2018 de Pulse destaca las opiniones y los comentarios de 4.455 profesionales de gestión de proyectos, 447 ejecutivos senior y 800 directores de oficinas de gestión de proyectos (PMO) de diversas industrias, entre ellas, gobierno, tecnología de la información (TI), telecomunicaciones, energía, fabricación, sanidad, y construcción. Los encuestados abarcan América del Norte; Asia Pacífico; Europa, Oriente Medio y África (EMEA); y las regiones de América Latina y el Caribe.

Entre las conclusiones de este estudio se refuerza que una gestión eficaz del proyecto para

implementar la estrategia de las organizaciones es clave, y tiene un fuerte impacto en el balance final. En este estudio se muestra como las organizaciones que invierten en prácticas comprobadas de administración de proyectos continúan experimentando un mayor éxito que sus contrapartes de bajo rendimiento.

Según este informe desde 2013, se observa una disminución del 27 % en la cantidad de dinero que las organizaciones están perdiendo debido al mal desempeño del proyecto, de 13,5 % a 9,9 %, en promedio mundial. Las organizaciones podrían reinvertir esos ahorros en otras áreas, lo que les permite moverse más rápido, producir más y lograr un mayor éxito.

Esto está relacionado con el escaso desarrollo que se observa en la madurez en gestión de proyectos que tienen algunas organizaciones. Otro punto importante a tener en cuenta es la cuantificación monetaria de las pérdidas. El promedio global de pérdidas es de 9,9 % del dinero invertido en el proyecto.

Según PMI (PMI, 2018) las pérdidas producidas por bajo rendimiento (en % del total invertido), la construcción se encuentra en un 8,6 % estando por debajo del promedio global. Además, es una de las industrias que menos pierde comparado con la las industrias de energía, manufactureras, telecomunicaciones, salud.

Análisis comparativo del rendimiento en proyectos de la industria de la construcción y de otras industrias.

A continuación, se realizan comparaciones de ciertos indicadores obtenidos del estudio realizado por el PMI en el 2018. Estableciendo la posición relativa que ocupan los proyectos de la industria de la construcción con respecto a otras industrias (PMI, 2018). Se comparan los siguientes aspectos:

- **Madurez de las organizaciones de construcción con respecto a la gestión de proyectos**

Uno de los aspectos fundamentales para comprender el rendimiento de los proyectos es cómo se comportan las organizaciones del sector industrial con respecto a la gestión de proyectos. Por eso, se presentan una síntesis del nivel de desarrollo de los sectores industriales con respecto a tres aspectos:

- ✓ Desarrollo del talento humano con respecto a la gestión de proyectos

- ✓ Procesos y capacidades con respecto a la gestión de proyectos.
- ✓ Cultura y capacidades organizacionales con respecto a la gestión de proyectos.

– **Rendimiento de los proyectos en el sector de la construcción**

Según las buenas prácticas de gestión de proyectos, el cumplimiento de la restricción triple (Alcance – Costo – Tiempos) es una medida de asegurar su éxito. Pero generalmente en los proyectos siempre se producen desvíos de estas tres variables principales. A continuación se presentan los resultados del estudio según PMI (PMI, 2018).

- ✓ Proyectos terminados en tiempo
- ✓ Proyectos completados dentro del presupuesto.
- ✓ Porcentaje perdido en un proyecto por ineficiencias.

En la tabla 4-6 se muestra un análisis comparativo de los aspectos mencionados de los CP y de otras industrias a nivel mundial. Los primeros tres ítems informan sobre la madurez de las organizaciones en PM. Los otros ítems muestran algunos indicadores sobre el rendimiento de los proyectos.

	Conjunto de industrias	Construcción
Desarrollo del talento humano	44	48
Procesos y capacidades	40	38
Cultura y capacidades organizacionales	42	43
Proys. finalizados en plazo	52	53
Proys. finalizados en costo	57	56
Desvíos en costo	9,9	8,6

Tabla 4 - 6 – Comparación de la industria de la Construcción y otras industrias. (PMI, 2018)

De las Fuentes 1 y 3 se realiza el siguiente cuadro resumen. Con lo cual se ubica la situación relativa de Argentina con respecto a otros países a nivel internacional (tabla 4-7).

País	LPI	Pérdidas en Clasificación	
		proyectos	MSCI
Australia	76	13,9	Desarrollado
Canadá	79	7,7	Desarrollado
Estados Unidos	80	9,6	Desarrollado
Reino Unido	81	10,8	Desarrollado
India	68	8,1	Emergente
China	73	7,6	Emergente
Ame. Latina	53	10,2	
Brasil	62	12,2	Emergente
Argentina	59	S/D	Emergente
Chile	65	S/D	Emergente
Colombia	52	S/D	Emergente

Tabla 4 - 7 – Comparativa de indicadores de logística y proyectos (valores en %)

4.2.2.2 Análisis Secundario

- **Fuente 4 (F4): Escuela de gestión de la Cámara Argentina de la Construcción (CAMARCO, 2018)**

En el 2017 se efectuaron encuestas en 90 empresas constructoras de Argentina, entre pequeña y mediana empresa. Las personas consultadas fueron: director de proyecto (25 %), gerentes (29 %), jefes de área (18 %), jefes de obra (28 %). De acuerdo a lo relevado, casi un 70 % de los encuestados están directamente vinculados a la obra (director de proyectos, jefe de obra y jefe de área), lo que hace suponer que tienen influencia directa en los procesos de construcción y en las decisiones de obra.

Las empresas constructoras consultadas se dedican principalmente a obras de: edificación, energía, hidráulicas, industriales, infraestructura, instalaciones, interiorismo, naves industriales, obras y servicios, saneamiento, telecomunicaciones, viales entre otras. Además, se las puede considerar en la categoría de empresas medianas de primer tramo (aproximadamente 100 empleados) que construyen para el sector privado y eventualmente trabajan en el sector público.

Reconocen que se encuentran entre un 10 % a un 30 % fuera de plazo y costo. Buscan mantener RRHH permanentes e invierten en maquinaria, aunque no tanto en capacitación o sistemas de gestión. Son empresas que poseen casi un 50 % de personal propio. No está conforme con los resultados obtenidos, su rentabilidad baja y sus costos suben. Reconocen que los sistemas tradicionales de planificación, seguimiento y relacionamiento entre la cadena no están funcionando.

También la encuesta revela que la planificación se aplica (83 % de los casos) pero a veces la misma sirve solo para ordenar las tareas o cumplir con requisitos contractuales, pero no para reflejar rendimientos y productividad.

Esta relación causa-efecto queda de manifiesto en que: 83 % planifica la obra, el 70 % atribuye pérdidas a retraso de actividades, falta de coordinación y esperas o detenciones (causas donde impacta la planificación), el 74 % atribuye problemas de atraso o pérdida a la falta o mala planificación de las actividades.

- **Fuente 5 (F5): III Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos** (Tapia & Phillipott, 2012)

Entre los años 2010-2012 se realizó un relevamiento de 48 empresas (de la Región de Cuyo) de la cadena de abastecimiento de la construcción tratando de cubrir todo el espectro de la red. Dentro de este estudio (cuali-cuantitativo) de campo se evaluaron: estudios de diseño, empresas constructoras, distribuidores y comerciantes, proveedores de bienes e industrias de extracción. Algunos resultados obtenidos:

- Cultura organizacional: el problema principal detectado es la falta de planeamiento. Se observa: superposición de tareas, mala definición de tareas y funciones, resistencia al cambio, ocultamiento de los errores; falta de interés en la capacitación del personal, conductas de desconfianza mutua, conductas individualistas, falta de delegación, gestión por afectividad, falta de reconocimiento de los esfuerzos, conformismo, apatía, falta de iniciativa y conflictos internos sin resolver.

Las consecuencias de este clima organizacional están asociadas a menor compromiso; mayor intención de abandonar; menor eficiencia; menor satisfacción laboral; menor conducta de ciudadanía organizacional y menor rendimiento.

- **Factores competitivos estratégicos:** se estudian con valores del 1 al 10 según la bibliografía (Cueto & Romero, 2004). En la figura 4-8 se observa Calidad: capacidad de lograr de forma consistente estándares aceptados por el cliente, puntaje 6. Fiabilidad: de las entregas, puntaje 4. Rapidez: estrategias basadas en la reducción de los ciclos de respuesta al cliente, puntaje 4. Costo: orientado a disminuir las ineficiencias para que los costos sean menores, puntaje 2,5. Flexibilidad: esto es una respuesta rápida y ajustada a sus necesidades, lo que algunos autores denominan respuesta “ágil”, puntaje 1.

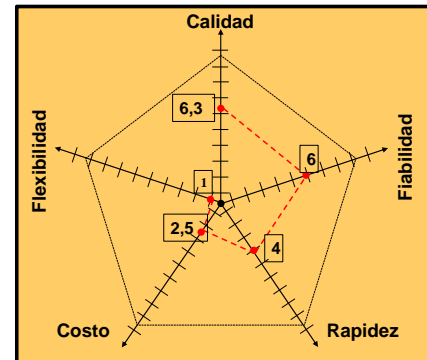


Figura 4 -8 – Factores competitivos, extraído de (Tapia & Phillpott, 2012)

Los factores no son independientes, la mejora en alguno de ellos repercute en los otros. Según el desarrollo de los dos primeros factores y considerando la clasificación: ágil, *lean* o fiable, esta es una cadena fiable (Cueto & Romero, 2004).

- **Rendimiento logístico de las empresas:** este estudio se basa en las categorías de desperdicios (pérdidas) del *lean thinking*. Se realizó un listado de posibles inconvenientes que se producen en los procesos logísticos. Con lo cual se interpretó el correspondiente rendimiento de las empresas según tres ciclos:
 - ✓ **Ciclo de abastecimiento:** la relación de la empresa con el mercado de proveedores, búsqueda de recursos externos. Rendimiento: 65 %.
 - ✓ **Ciclo de aprovisionamiento:** la disponibilidad de los recursos internos en las áreas productivas. Rendimiento: 62 %.
 - ✓ **Ciclo de distribución:** la entrega de producto terminado a los clientes. Rendimiento: 67 %.
- **Forma organizacional predominante:** se determina que un 96 % de las empresas no consideran la logística como una función integrada dentro de la empresa. En los distintos departamentos se realizan actividades pertenecientes a la logística, considerados independientemente. El otro 4 % de las empresas se hallan dentro de la categoría World Class. Además si se relaciona con el avance de la integración de la SC se encuentran entre la división funcional y la etapa de integración funcional (Gambino, 1999).

- Estudio de caso (proyecto) – empresa de construcción (contratista) (Tapia & Phillpott, 2012)

La empresa es de la RCA, pertenece la categoría de empresa mediana. Se realizaron mediciones sobre los aspectos detectados en los problemas de los procesos logísticos. Se analizó el caso de tres proyectos y se registraron los incidentes de fallas logísticas. También, se cuantificaron las pérdidas en tiempo y costo y se compararon con la línea base del proyecto. Los valores de los resultados se consignan en el cuadro resumen y son casos desde el 2010 al 2012.

- **Fuente 6 (F6): Estudio sobre el desempeño de proyectos de inversión privada en la provincia de Mendoza (Argentina) (Moreno S & Cantú, 2012)**

El estudio comprende una muestra de más de 188 proyectos de inversión privada, abarcando un periodo que va desde el año 1995 hasta el año 2011 inclusive. Los proyectos han sido financiados por entes privados de crédito, por lo cual han sido evaluados previamente.

Este estudio concentra sus esfuerzos en identificar y analizar las fortalezas y debilidades de la modalidad aplicada, desde la evaluación preliminar hasta la finalización de los proyectos, concentrando sus esfuerzos en el análisis del desempeño de los mismos, principalmente en lo que respecta a plazos y costos.

El estudio analizó la eficacia respecto de la materialización del financiamiento. Así como la eficiencia respecto del desarrollo y desempeño de los mismos a la vista del cumplimiento de sus objetivos y posibles desviaciones en plazos y costos.

Las conclusiones de este estudio deben relacionarse con las particularidades de la región y el país en el periodo de estudio, en especial las vinculadas a las cambiantes condiciones económicas, políticas y sociales.

En el estudio se destaca que las Pymes mendocinas les falta madurez en lo que respecta al desarrollo e implementación de metodologías para la gestión eficiente de proyectos, pero se percibe una reducción de este déficit.

Muchos de los proyectos con problemas en su desempeño no poseían una estructura de gestión adecuada, sin un referente especializado en la temática y un equipo de gestión de proyecto que le diera soporte.

Uno de los grandes inconvenientes, que es causal reiterada en los resultados adversos

mencionados, se centra en una modalidad muy arraigada en el medio, donde la formulación económica aparece como “separada” de la ejecución y puesta en marcha de los proyectos.

Esto se traduce en inconvenientes, a veces serios, a la hora de materializar lo proyectado en los términos económicos previstos, inconvenientes que se manifestaron en mayores costos y retrasos que debieron ser asumidos por los inversores.

Esta separación, pero a la inversa, se detectó en la etapa de ejecución y puesta en marcha, con consecuencia también adversas para el alcance y las variables críticas de los proyectos.

El desempeño mencionado en el estudio no dista mucho de lo observado en otras investigaciones (en el país y en otros países), principalmente en lo que respecta a plazos y costos.

Además, el estudio contempla las posibles causales del rendimiento detectado, planteando distintas alternativas para mejorar el desempeño de los proyectos y optimizar el uso de los recursos.

- **Fuente 7 (F7): Productividad de obras civiles y causas de las pérdidas.** (A. D. Cantú & Moreno, 2012) (A. Cantú et al., 2009)

En estos trabajos se presenta la medición del nivel de actividad de un proyecto. Se realiza una determinación de la forma en que el tiempo de trabajo está siendo utilizado por el personal, midiendo el porcentaje de tiempo que la mano de obra ocupa en ciertas categorías predeterminadas de actividades. Se presentan los resultados de la aplicación de esta metodología en tres obras civiles, obteniendo el rendimiento de la productividad de los proyectos (2009-2019).

Este trabajo se basa en los conceptos de trabajo productivo, trabajo contributorio y trabajo no contributorio. Se toman como valores aceptables de rendimiento de mano de obra: 60 % de trabajo productivo, 25 % de contributorio y 15 % de no contributorio, según (Serpell Bley, 2002) (F8).

Además, se presentan los resultados de una encuesta a 50 profesionales del medio, donde se analizan las causas del bajo rendimiento de los proyectos en general. Uno de los aportes más importantes de esta encuesta es sobre las propuestas de mejoras. Con los siguientes resultados. Acciones para mejorar: logística (27 %), gestión (18 %), productividad de RRHH (17%), planificación (15 %), información (9 %), definición del alcance (8 %), decisiones del

cliente (5 %), otros (1 %).

Entre las conclusiones de estos trabajos se destacan algunas como:

- Conociendo cómo se gestionan la mano de obra y el uso de los recursos, aparecerán los problemas que afectan la productividad.
- Se debe poner énfasis en comprometer fuertemente tanto a la gerencia de la empresa como a subcontratistas, hacia la utilización e implantación de otras herramientas de “*Lean Construction*”.
- Seleccionar subcontratistas por su habilidad y disponibilidad para participar en el sistema de control de producción y aprender de estos (Contratistas certificados).
- Del análisis de las causas de no cumplimiento depende la retroalimentación y el mejoramiento continuo, pues en el análisis de ellas se encuentra la capacidad de no volver a cometer errores.

4.2.3 Cuestionario (Fuente F9)

Dado el marco de referencia se realizó una encuesta estructurada, con el objetivo de comparar los indicadores de la bibliografía consultada (ver Anexo III con formulación del cuestionario). Al instrumento se le efectuó la validación de contenido.

La población objetivo se definió en el capítulo de la metodología, el tamaño es de 305 personas. Las encuestas se realizaron vía web, entre abril y mayo de 2019. De las que se obtuvieron 45 respuestas, pero 4 resultaron incompletas, por lo cual quedó una muestra de 41 encuestas, lo que representa un 13,44 % de la población. Para un nivel de confianza del 95% de la media; el error estándar es de 5,6 %. Después de realizadas las encuestas se calculó el coeficiente alfa de Cronbach, el que arrojó un resultado de 0,86. A continuación se muestra un resumen de los resultados.

En primer lugar, se observa la tabla 4-8 (valores en %) de las características de la muestra. Se observa que es predominantemente de la industria de la construcción y los proyectos se ejecutan en la zona RCA. El mayor % de las empresas en la categoría de Pymes. Los proyectos relevados están entre medianos y pequeños.

		%				%	
Experiencia en PM	0 a 5	32	Capacitación en PM	Certificación internacional	6		
	5 a 10	41		mayor a 100hs	73		
	10 a 15	21		menor a 100hs	21		
	15 a 20	6		Ninguna	0		
	más de 20	0					
Tamaño de empresas	Micro	19	Sector industrial	Construcción	51		
	Pequeña	18		Gobierno	3		
	Mediana	29		Manufactura	10		
	Grande	34		Energía	14		
				IT	3		
		Petróleo y Gas		14			
		Otras		5			
Región del sitio de producción	Cuyo	59	Costo de los proyectos (en dólares)	menos de 100.000	21		
	NOA	4		entre 101.000 y 500.000	29		
	NEA	0		entre 501.000 y 1.000.000	12		
	Centro	2		entre 1.000.001 y 5.000.000	17		
	Patagonia	14		entre 5.000.001 y 10.000.000	6		
	Bs. As.	14		más de 10.000.001	15		
	Exterior	6					

Tabla 4 - 8 – Caracterización de la Muestra

En segundo lugar, se observa los resultados (tabla 4-9) con respecto a la madurez de las organizaciones basadas en proyectos que intervienen en la zona en estudio.

		%	
Procesos y capacidades	Existencia de PMO	59	(Si)
	Prácticas estandarizadas	55	
	Aplicación profesional en PM	32	
Cultura y capacidades organizacionales	Se comprende el valor agregado del PM	76	(algo de acuerdo)
	Sponsor activos	71	
	Los cambios son bien percibidos	70	
	Inversión en tecnología es una alta prioridad	68	
Capital humano	Capacitación continua en PM	53	(ni de acuerdo ni en desacuerdo)
	Proceso formal de transferencia de conocimientos	54	(algo de acuerdo)
	Prioridad en el desarrollo de habilidades técnicas	72	(ni de acuerdo ni en desacuerdo)
	Prioridad en el desarrollo de habilidades de liderazgo	65	(ni de acuerdo ni en desacuerdo)
	Prioridad en el desarrollo de habilidades de gerenciamiento	61	(ni de acuerdo ni en desacuerdo)

Tabla 4 - 9 – Madurez de las organizaciones en Gestión de Proyectos

En tercer lugar, se observa el rendimiento de los proyectos (tabla 4-10). En esta tabla se aprecian los valores de la media con su intervalo de confianza del 95 % (alfa 5 %).

	Media	Intervalo de confianza de la media (95%)	
		Media	Media
Proyectos finalizados sin modificaciones significativas de alcance	46	38	55
Proyectos finalizados sin atrasos	32	24	40
Atraso promedio de los proyectos	42	34	50
Proyectos terminados sin variaciones de costo	44	34	54
Variación del costo estimado	44	34	53
Cumplimiento de los requerimientos del cliente	79	75	83

Tabla 4 - 10 – Rendimiento de proyectos (en %)

En cuarto lugar, se observa el rendimiento de los recursos internos y externos (tabla 4-11) y

de la logística en general (SC) (tabla 4-12).

		Media	Intervalo de confianza de la media (95%)	
Internos a la organización principal (%)	Integración de las distintas áreas de la organización	60	53	67
	Coordinación de los RIs entre proyectos	56	50	63
	Exactitud de la información interna	57	51	64
	Formalización de los procesos internos	48	42	54
	Eficiencia de la utilización de los Ris	56	50	62
	Pérdidas producidas por ineficiencias	10	8	12
	Atrasos producido por ineficiencias	11	9	13
	Afectación de la calidad por las ineficiencias	9	7	11
Externos a la organización principal (proveedores)	Origen regional	56	47	65
	Origen nacional	23	16	28
	Origen mundial	21	17	29
	Integración de la gestión de abastecimientos con otras áreas	60	53	66
	Nivel de servicio de los almacenes	62	55	69
	Conocimiento del mercado de proveedores	65	57	74
	Nivel de servicio de los proveedores	61	55	68
	Planificación de las adquisiciones	60	52	68
	Pérdidas producidas por ineficiencias de proveedores	8	6	9
	Atrasos producido por ineficiencias de proveedores	10	9	12
Afectación de la calidad por las ineficiencias de los proveedores	9	7	11	

Tabla 4 - 11 – Recursos de los proyectos (en %)

	Media	Intervalo de confianza de la media (95%)	
Nivel de la gestión logística de la organización	60	52	68
Nivel de servicio de los proveedores regionales	65	60	69
Nivel de los procesos de abastecimiento de la organización	58	50	65
Nivel de los procesos de aprovisionamiento del sitio de producción	59	52	66
Nivel de la infraestructura regional	62	57	67

Tabla 4 - 12 – Logística y Cadena de Abastecimiento (en %)

4.2.4 Comparación de fuentes

De los datos obtenidos de las distintas fuentes se procedió a realizar un cuadro comparativo como resumen, de la situación de los proyectos y la logística en la RCA (tabla 4-13 y 14).

		RENDIMIENTOS DE EMPRESAS DE PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN								
		MUNDIAL			ARGENTINA			REGIÓN DE CUYO		
		F8	F3	F1	F2	F4	F6	F7	F5	F9
PROYECTOS	Trabajo productivo	60	-----	-----	-----	59	-----	53	-----	-----
	Trabajo contributivo	25	-----	-----	-----	-----	-----	22	-----	-----
	Trabajo no contributivo	15	-----	-----	-----	-----	-----	25	-----	-----
	Desvíos en plazo	-----	-----	-----	-----	24	44	-----	-----	45
	Desvíos en costo	-----	8,6	-----	-----	17	17	-----	-----	22
	Proys. finalizados en plazo	-----	53	-----	-----	26	36	-----	-----	39
	Proys. finalizados en costo	-----	56	-----	-----	46	47	-----	-----	51
	Pérdidas de tiempo por causas logísticas(exts-ints)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	7,2	9,9
	Pérdidas en costo por causas logísticas	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3,8	4,2
	Madurez en gestión de proyectos	-----	43	-----	-----	-----	-----	-----	-----	63
LOGÍSTICA	LPI	-----	-----	59	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Infraestructura	-----	-----	57	51	-----	-----	-----	-----	60
	Nivel de servicio proveedores regionales	-----	-----	57	54	-----	-----	-----	70	62
	Nivel de servicio proveedores en general de proyecto	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	62
	Logística empresaria cadena de la construcción	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	65	-----
	Logística en el sitio del proyecto	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	57
	Nivel de Servicio logístico de la empresa de proyecto	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	59

Tabla 4 - 13 – Rendimientos en proyectos y logística de las organizaciones de la RCA (en %)

	F4	E
Fallas en la planificación	28	25
Problemas de actividades logísticas o cadena de abastecimiento	21	24
Productividad de la mano de obra	8	14
Fallas del flujo y calidad de información	10	12
Alcance mal definido	0	11
Fallas de gestión	21	4
Decisiones del cliente	0	2
Entorno socio-político- económico regional y nacional del proyecto	0	2
Condiciones del emplazamiento	8	1
Falta de productividad del sector industrial	0	1
Aprobaciones de los entes gubernamentales	0	1
Corrupción	0	1
Falta de tecnología	4	0
Accidentes laborales	1	0
Otros	0	1

E: se considera el promedio de las fuentes F7 y F9

Tabla 4 - 14 Causas de pérdidas de no cumplimiento lo planificado (en %)

4.2.5 Diagnóstico

Según F5 a nivel regional la CSC es una cadena fiable, con organizaciones que presentan problemas de desarrollo de planeamiento estratégico y de cultura organizacional. El mayor porcentaje de empresas es del tipo PYME y pocas grandes empresas de clase mundial.

Basados en el gráfico propuesto para la SC de construcción (Estudio Descriptivo), se consigna

para cada conjunto de eslabones el diagnóstico de los rendimientos en logística y proyectos según corresponda, para la RCA. Se debe considerar que los valores consignados son promedio, debiéndose hacer un estudio particular para cada caso.

4.2.5.1 Gestión del Proyecto

A nivel mundial (F3) para las distintas clases de proyecto se estima que se pierde el 9,9 % de lo invertido. En el sector de la construcción el 8,6 %. Esto está asociado a un nivel de madurez de las empresas basadas en proyectos que se estima en el 43 % y además solo el 53 % de los proyectos se completan sin desvíos en plazo y 56 % en costos.

Esta encuesta no ofrece valores para Argentina, pero para América Latina las pérdidas promedio se estiman en el 10,2 %, y en el caso de Brasil las pérdidas son aproximadamente del 12,2 %.

A nivel Argentina el desvío en costo es de 17 % (F5) y en plazo del 24 %, con una estimación de que solo en el 46 % se cumple el costo y en el 26 % los plazos. Lo que demuestra que se está bastante lejos de los valores a nivel mundial y de la media de América Latina.

En el caso de la Región de Cuyo el desvío en costo en promedio es cercano al 19,5 % (F6-F9) y en plazo del 44,5 %. Además, solo el 48,5 % de los proyectos se termina en costo y solo el 37% en plazo. Estos valores difieren de lo sucedido en el plano nacional. También, se observa un nivel de madurez en gestión de proyecto del 63 % superior a la media global, lo que no se refleja en el rendimiento de los proyectos.

Según los profesionales de la región las principales causas del bajo rendimiento son por: fallas de planificación, problemas de logística y SC y productividad de la mano de obra. Para solucionar estos problemas se proponen principalmente soluciones en el aspecto logístico y SC, gestión en general y recursos humanos (F7).

4.2.5.2 Sitio de producción (emplazamiento)

El rendimiento, de las actividades ejecutadas en este sitio, están condicionados por las características del entorno (topografía, infraestructura, urbanismo, clima, ubicación, servicios, etc.), el tipo de contratista principal y el conjunto de proveedores que intervienen en el sitio. Esto dependerá de cada proyecto.

Para la región estudiada se obtiene de F9 un nivel de servicio logístico en el sitio de producción de un 57 %. Asociado a un rendimiento de infraestructura regional del 60 %. Los niveles de infraestructura de la región se observan superior a los promedios nacionales dados por F1 y F2, que son del 57 y 51 % respectivamente. Las causas de esta diferencia se pueden deber a disparidad de desarrollo de las distintas regiones en Argentina.

Si se observa el rendimiento de la mano de obra, basados en F7 la región tiene un rendimiento de 53 % en trabajo productivo. Valor por debajo del promedio nacional (F4) del 59 % o del 60 % aceptable por estándares (F8). El resto del tiempo laboral (F7) se divide en 22 % de trabajo contributivo y 25 % de trabajo no contributivo. El valor del trabajo no contributivo está 11 % por encima de los valores aceptables. Además, se estima que del 22 % un 36% del trabajo contributivo está dedicado solo a transportes.

4.2.5.3 Transportes al sitio de producción y a la base del contratista.

El rendimiento global del transporte está asociado al origen de los proveedores. Según los datos de F9 la distribución de proveedores de los proyectos de esta región están conformados, aproximadamente y en promedio, por 56 % de origen regional, 21 % nacional (no perteneciente a la región y del país) y 23 % del exterior.

Para los proveedores regionales el rendimiento de los transportes está asociado con el nivel de infraestructura (60 %, F9) y a la competitividad y calidad de los servicios logísticos que a nivel nacional está en 57 % según F1. Lo cual hace suponer que el nivel de servicio de los transportes regionales no será superior al 60 %, así como el nacional (dependiendo de la región de Argentina).

Mientras que los transportes de proveedores del exterior estarán condicionados por las componentes regionales y nacionales. Pero además empieza a intervenir la variable de comercio exterior: eficiencia de los despachos aduaneros (origen y destino), frecuencia de arribo de embarques al destinatario dentro del plazo previsto (origen). Por lo cual cada caso requerirá una evaluación especial. En general en Argentina el origen de las importaciones corresponde a países de rendimientos logísticos superiores según el LPI.

4.2.5.4 Contratista

El contratista es una empresa basada en proyectos. En el plano regional este tipo de

organizaciones tiene un nivel de madurez del 63 % (F9) en gestión de proyectos valor muy superior al promedio mundial de 43 % (F2). Esta diferencia se puede asociar al nivel de capacitación de los recursos humanos de la población encuestada, pero este mejor índice de madurez no se refleja en un mejor rendimiento de los proyectos. Por lo cual podría suponerse que no es lo que sucede en todas las empresas.

El nivel de servicio logístico de las empresas de proyecto es de 59 % (F9), valor inferior al determinado para el promedio de la SC regional que se estima en 65 % (F5), pero este valor incluye todo tipo de empresas de la SC.

Con respecto a la gestión de los recursos internos (ciclo de aprovisionamiento) el nivel de servicio se observa en el 57 % (F9), por debajo de lo obtenido en el global del CSC regional 62% (F5).

En los recursos externos (ciclo de abastecimiento) el nivel de servicio se encuentra en 62% (F9). Inferior al global del CSC regional 65 % (F5). Lo que llevaría a considerar que las empresas basadas en proyectos están con rendimientos logísticos inferiores al resto de empresas que integran la CSC. Dato a tener en cuenta porque no sólo el contratista trabaja por proyectos, sino que hay una serie de subcontratistas que trabajan de esta forma (proveedores de primer nivel).

4.2.5.5 Proveedores de primer nivel

En los apartados anteriores se mencionó la división de origen de los proveedores. En general en los proyectos de la región se estima un nivel de servicio de proveedores del 62 % (F9), lo cual considera el mix de proveedores mencionado y la influencia de los servicios de transporte. El promedio regional es del 66 % (F5-F9). Con eficiencia de logística empresarial del 65 % (F5).

A escala nacional el nivel de servicio de proveedores se estima en 57 % (F1) o 54 % (F2), esto está asociado a las diferencias de desarrollo económico-social de las diferentes regiones de Argentina.

Con respecto a los proveedores internacionales se deberá evaluar cuál es su origen. Si se toma de referencia el LPI, se puede observar una diferencia importante entre los países desarrollados y Argentina, 59 %. Por ejemplo, Australia 76 %, Canadá 79 %, Estados Unidos 80 % y Reino Unido 81 %. Si comparamos con países emergentes: India 68 %, China 73 %, Brasil

62 %, Chile 65 % y Colombia 52 %.

4.2.5.6 Relación logística y SC-con el rendimiento del proyecto

De los datos obtenidos de F5 y F9, se puede estimar cuáles son las pérdidas que ocasiona la no eficiencia de la logística y la SC, en la RCA. Así se calcula que las pérdidas promedio de tiempo son aproximadamente del 8,6 % y de costo del 4,0 %, siempre referido a los valores de la línea base del proyecto. A continuación, se observan los valores en la figura 4-9.

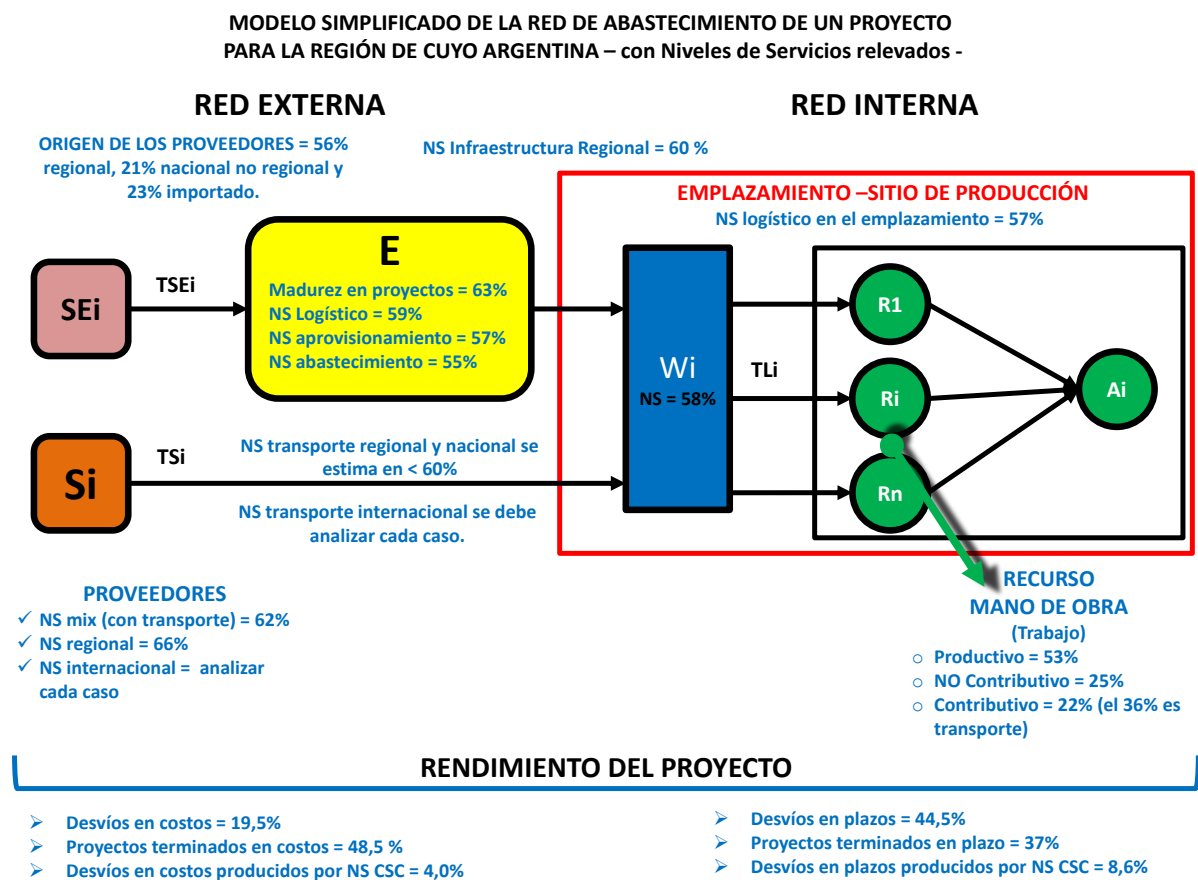


Figura 4 - 9 – Modelo simplificado de la PSN y valores obtenidos del diagnóstico

CAPÍTULO 5

ESTUDIO CORRELACIONAL

5 CAPÍTULO - ESTUDIO CORRELACIONAL

Como se mencionó en el capítulo dedicado a la Metodología de la Investigación, con los datos obtenidos en el estudio descriptivo se trató de verificar la correlación de las variables planteadas en las hipótesis. Se buscó la posible existencia de relaciones entre variables sin precisar su sentido de causalidad. Las variables a estudiar: NS CSC vs rendimiento de proyectos y LPI vs PBI per cápita. Para ello, primero se realizó un estudio de las variables individualmente y posteriormente se analizó la correlación. Para este objetivo se utilizó herramientas de estadísticas por medio del software R (software libre, versión 3.6.3).

5.1 Análisis de variables

En primera instancia se realizó un análisis de las variables relevadas en el cuestionario. Se consideró que (entre paréntesis se indica la correspondencia con la pregunta que se realizó en el cuestionario):

PVT: variación del tiempo del proyecto (pregunta 15)

PVC: variación del costo del proyecto (pregunta 17)

NSRI: nivel de servicio de los recursos internos (pregunta 20-5)

RIVC: variación del costo debido a los recursos internos (pregunta 21)

RIVT: variación del tiempo debido a los recursos internos (pregunta 22)

NSPMIX: nivel de servicio del conjunto de proveedores del proyecto (pregunta 24-4)

NSW: nivel de servicio de los almacenes del contratista y el sitio de proyecto (pregunta 24-2)

REVC: variación de costo debido a los recursos externos (pregunta 28)

REVT: variación de tiempo debido a los recursos externos (pregunta 29)

NSC: nivel de servicio del contratista (pregunta 31-1)

NSPREG: nivel de servicio de los proveedores regionales (pregunta 31-2)

NSS: nivel de servicio en el sitio del proyecto (pregunta 31-4)

NSI: nivel de servicio de la infraestructura regional (pregunta 31-5)

Este estudio consistió en el análisis de los histogramas de cada una de las variables, que arrojó resultados en la mayoría de ellos con colas pronunciadas hacia izquierda.

Posteriormente se realizó una aproximación de estos histogramas a leyes de distribución de probabilidades. Debido al cuestionario realizado las variables se le daban dos extremos

definidos, por ejemplo, en niveles de servicio varía entre 0 y 100 % (0-1), por lo cual la distribución adoptada fue la Beta que permite definir dos extremos finitos. Además, se realizó una analogía con el método de los tres valores, por lo cual se adoptó como valor más probable la media obtenida de la muestra y como pesimista y optimista los valores mínimos y máximos obtenidos.

Con estos valores se procedió a determinar los valores α y β característicos de este tipo de distribuciones. Posteriormente se realizó la verificación de ajuste de esta distribución a la muestra, para lo cual se utilizó el método de Kolmogorov. Los cuales todos resultaron aceptables para todas las variables. En la figura 5-1 se observa una muestra de esta aproximación con los histogramas de la muestra y las distribuciones betas adoptadas. En el Anexo IV se encuentra las tablas resúmenes de las distribuciones y las pruebas de Kolmogorov)

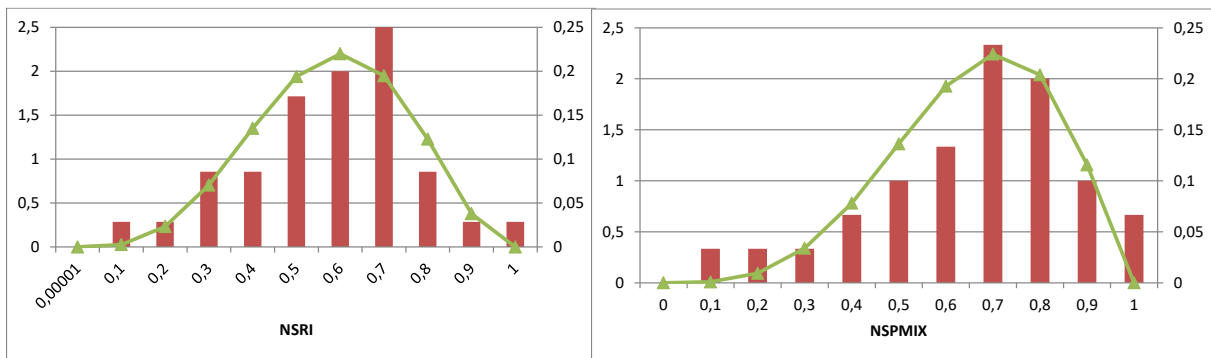


Figura 5 - 1 – Histograma y distribución β adoptada (ejemplo de variables NSRI y NSPMIX)

Además, se consideraron tres variables más que son de relevancia para el modelo:

NSArg: nivel de servicio de proveedores Nacionales (Argentina)

NSInt: nivel de servicio de proveedores internacionales (en este caso China)

Mdo: rendimiento de la mano de obra.

En estos casos se siguieron los siguientes métodos:

NSArg: se consideró como valor medio el valor de LPI transformado a NS, en este caso para Argentina. Como pesimista y optimista se consideraron el 0 y el 100 %.

NSInt: se consideró como valor medio el valor de LPI transformado a NS, en este caso para China. Como pesimista y optimista se consideraron el 0 y el 100 %.

Mdo: se consideró como valor medio los valores obtenidos del estudio de relevamientos anteriores vistos (capítulo 4). Como pesimista y optimista se consideraron el 0 y el 100 %.

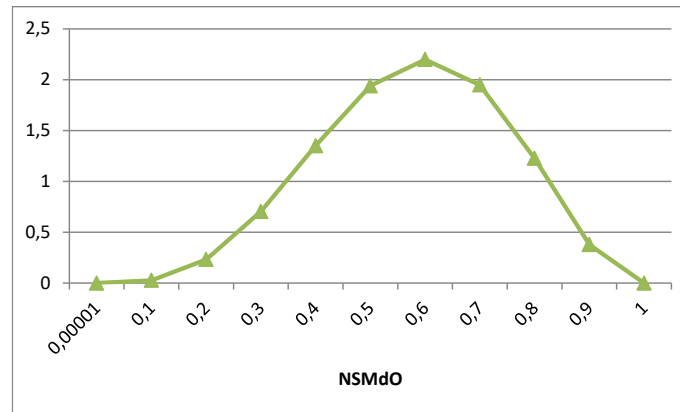


Figura 5 - 2 – Ejemplo de distribución β adoptada para el NS de la Mano de Obra

5.2 Correlación - Nivel de servicio de CSC – Rendimiento de los proyectos.

En primera instancia se realizó un análisis de correlación entre las diferentes variables de Niveles de Servicio, Rendimiento de los proyectos e influencia en las pérdidas de tiempo y costo de los recursos internos y externos (figura 5-3).

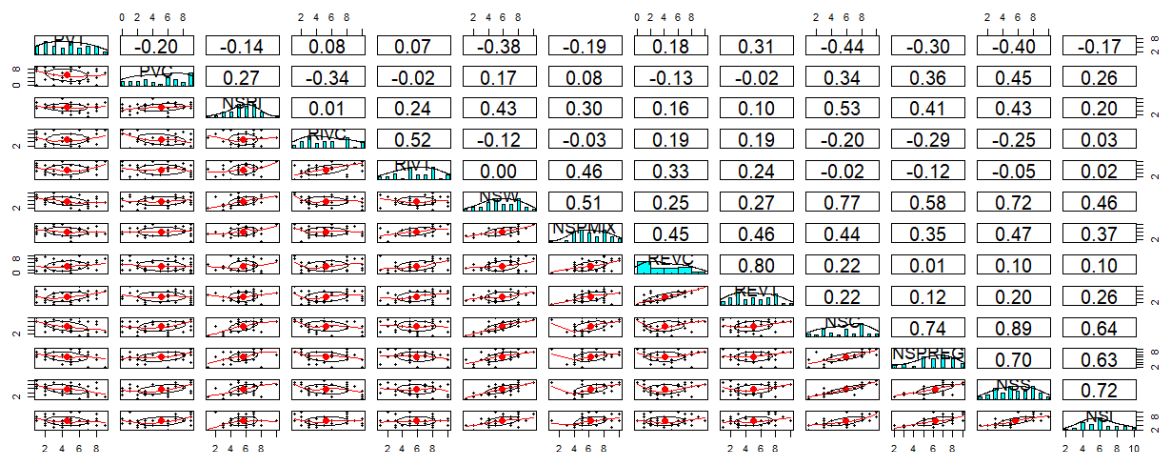


Figura 5 - 3 Correlaciones entre variables (ver pág. 330 Anexo VII)

De los resultados del cuestionario en general se observan correlaciones no significativas. En los siguientes casos se observan correlaciones mayores a 0,7 (en valor absoluto):

- ✓ NSW con NSC y NSS – correlación entre NS almacenes con el contratista y el sitio de producción.
- ✓ REVC con REVT – correlación entre la variación del costo y tiempo de los recursos externos.
- ✓ NSC con NSPREG y NSS – correlación entre el NS presentado por el contratista con lo

que sucede con los proveedores regionales y el sitio de producción.

- ✓ NSPREG con NSS – correlación entre los proveedores regionales y los resultados observados en el sitio de producción.
- ✓ NSS con NSI – correlación entre el NS del sitio de producción con la infraestructura existente.

El listado anterior muestra relaciones lógicas de correlación entre las variables mencionadas. El resto de las correlaciones no son significativas y su estudio necesitaría de una investigación más exhaustiva diferenciando por ejemplo pérdidas por calidad, variaciones de alcance y otras variables que no han sido relevadas en el cuestionario. Además de mejorar la muestra y realizar una estratificación por tipo de proyecto.

5.3 LPI – PBI per cápita según actividad económica

5.3.1 Desarrollo del modelo

Siendo el LPI es el indicador a nivel mundial más desarrollado en los últimos años, se toma la decisión de verificar su correlación con parámetros económicos sociales. Del análisis de los antecedentes se observan intentos de la correlación entre el LPI y el PBI per cápita de los países.

Por ejemplo, se observa cierta correlación entre el LPI y el logaritmo base 10 del PBI per cápita. En otros casos se utilizan variables intermedias como índice de competitividad y corrupción, para analizar su relación.

Como conclusión de los antecedentes se puede decir que hay evidencia de la relación entre crecimiento económico de los países y las mejores condiciones logísticas. Además, se menciona que debe existir alguna otra relación con el origen de la conformación del PBI, por sus actividades económicas.

La utilidad de este estudio para la investigación, es encontrar cómo predecir valores de rendimientos logísticos en distintas regiones, sin poseer los valores específicos. La bibliografía evidencia la falta de mediciones de rendimientos logísticos en relación con las IBP.

5.3.1.1 Instancia 1- Correlacional-exploratorio

En esta primera parte del estudio se utilizó los datos correspondientes al año 2016, dado que estos eran los más completos para la mayoría de los países. Para un análisis rápido e

introdutorio se utilizó el comando *pairs.panel* de R. Se pudo determinar la posible existencia de una correlación lineal entre el LPI y el PBI per cápita.

Se decidió continuar con el estudio de estos indicios. Para lo cual se graficó la correspondiente nube de puntos. En la siguiente figura se observa esta correlación (PBI per cápita en escala logarítmica), y se trazó una regresión exponencial, como se establecía en la bibliografía. Si bien existe una correlación su $R^2=0,5236$, la cual no es significativa para un análisis predictivo (figura 5-4).

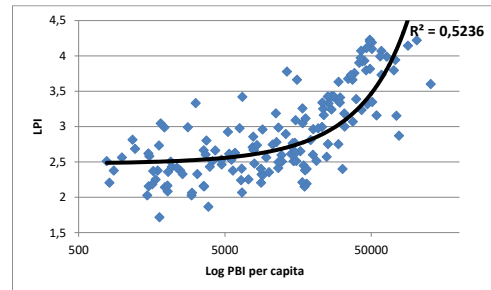


Figura 5 - 4 Log PBI per capita vs LPI

Se realizó idéntico análisis con una regresión lineal donde se obtuvo el siguiente valor de $R^2=0,5544$ (figura 5-5).

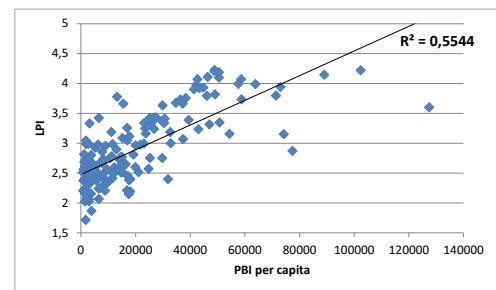


Figura 5 - 5 Regresión lineal del PBI-LPI

Por lo cual, ninguna de las dos correlaciones establecidas es concluyente y confiable para predecir valores, además de sólo relacionar un parámetro económico y la población total. Debido a que la logística es una actividad de comercio, socio-económica, se toma la decisión de probar con el PBI per cápita, pero de la población económicamente activa (PEA). Se conformó el índice PBIPEA, que surge de la división del PBI (en dólares) y la PEA (año 2016). Se conformó una base de datos de 160 países.

En el siguiente gráfico se observa la existencia de una correlación débil, dado que el R es aproximadamente 0,75 ($R^2=0,5625$), si bien este valor es mejor que el del PBI per cápita de la población total (figura 5-6).

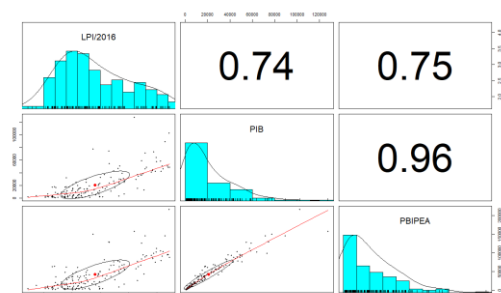


Figura 5 - 6 Correlaciones del PBI

Para avanzar en el estudio se realizaron los mismos gráficos anteriores, pero con el PBI per PEA. Donde se observan mejores coeficientes R^2 , pero aún no suficientes para el objetivo de la investigación.

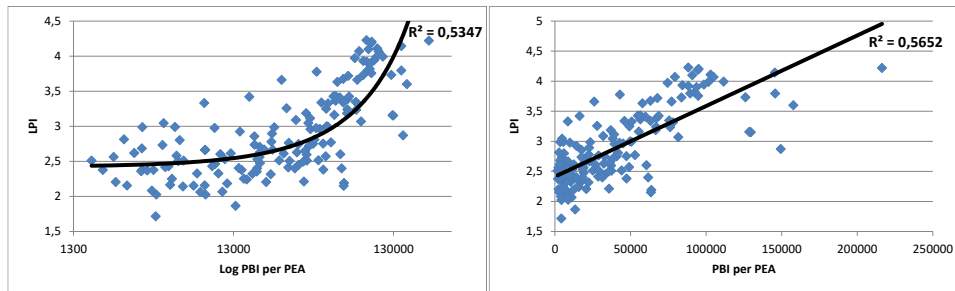


Figura 5 - 7 – LPI vs PBI per PEA

Dado que se obtuvo una mejora en los valores, se decide continuar con la relación LPI-PBIPEA, y con escalas normales, abandonando la escala logarítmica.

5.3.1.2 Instancia 2 – Estudio de clústeres

Se prosiguió con análisis de clúster con R. Se utilizó un clúster jerárquico con método ward y distancia euclidean. Si bien se probaron con distintos números de clúster, aquí se muestra la solución con 4 clústeres, ver figura 5-8. Estos clústeres dieron como media del PBIPEA - [1,] 89476,20; [2,] 149867,02; [3,] 48597,3; [4,] 11704,80. Esto confirma los diferentes comportamientos por grupos.

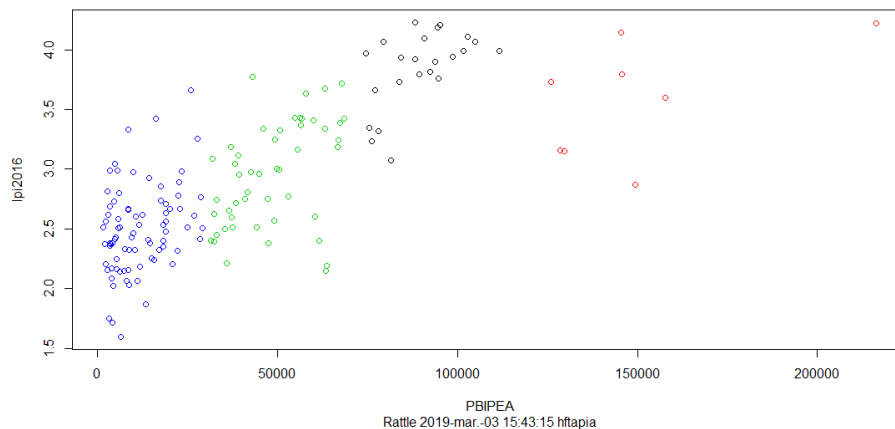


Figura 5 - 8 - Clústeres LPI-PBI per PEA

Es importante destacar que el clúster [4] representa una nube de puntos difusa, donde no se puede establecer una correlación. Por lo cual se debió analizar el estudio o no de esos datos para las siguientes instancias.

5.3.1.3 Instancia 3- Actividades económicas

En esta instancia lo importante es poder determinar cuáles son los países que tienen comportamientos similares. Esto se realiza con el estudio de parámetros de conformación de

la actividad económica de cada país lo que se asocia directamente con los valores de PBIPEA. Para este análisis se consideró dejar fuera de estudio aquellos puntos con PBIPEA menores a 10.000. Esto sustentado en el estudio de clúster de la instancia anterior. Posteriormente se realizó un análisis (LPI vs PBIPEA y valores de sus actividades económicas) de los países que se encontraban fuera de la nube de puntos principal. A priori se pudo observar que estos países presentaban actividades económicas con predominancia en el petróleo y en los servicios.

Esta situación convocó a la conformación de una nueva base de datos acotada a los siguientes parámetros (años 2016): país, LPI, PBIPEA e ingresos (agricultura, industrialización, comercio de mercaderías, exportaciones de mercaderías, exportación de bienes y servicios, exportación de combustibles, exportación de metales y minerales, producción de petróleo, renta de recursos naturales, uso de tierras agrícolas y exportación de productos de alta tecnología, como % del PBI). Los valores de cada uno de estos parámetros se relacionaron con la densidad PBIPEA. La elección de estos parámetros está asociada a las actividades principales que conforman las economías actuales de los países.

Posteriormente se procedió a separar en grupos a los diferentes países. Se conformaron cuatro grupos: general, servicios, petróleo y PBIPEA<10000 (ver tabla 5-1 y figura 5-9)

	PBIPEA 2016	Agricultura	Industrialización	Comercio de mercaderías	Exp. de mercaderías	Exp de Bienes y servicios	Exp. Combustibles	Exp de metales y minerales	Producción de petróleo	Rentas de Recursos naturales	Tierras agrícolas	Exp.de alta tecnología
Promedio global	41.091	10%	11%	62%	15%	39%	1%	1%	497	7%	42%	1,7%
General	53.721	6%	14%	70%	20%	45%	1%	1%	263	3%	39%	3,0%
Servicios	52.703	5%	8%	68%	12%	67%	1%	1%	20	3%	43%	0,8%
Petro	63.971	4%	8%	52%	11%	29%	5%	0%	3.352	18%	34%	0,4%
PBI<10000	6.379	21%	7%	51%	8%	24%	0%	0%	24	11%	50%	0,1%

Tabla 5 - 1 – Clústeres según Actividad Económica como porcentaje del PBI

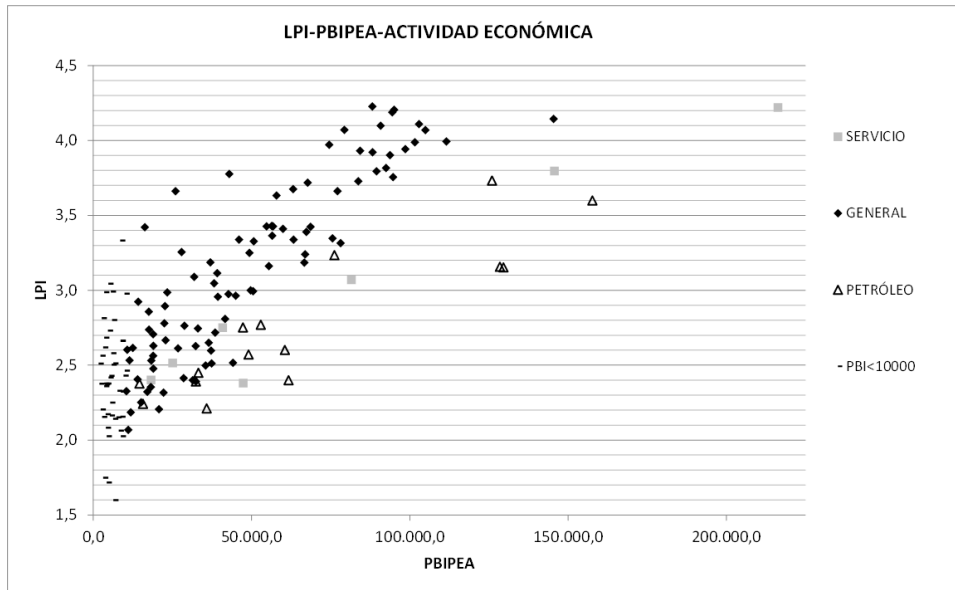


Figura 5 - 9 - Clústeres según Actividad Económica como porcentaje del PBI

En la figura 5-9 se observan los cuatro grupos de países definidos según la actividad económica. En la tabla se establece las características de las actividades económicas. En la misma se destacan las actividades que superan el promedio global en cada una de las categorías. A priori se establece sus actividades predominantes.

Por lo cual hay indicios suficientes para destacar que en la relación PBIPEA-LPI existen correlaciones según la actividad económica predominante en los países.

5.3.1.4 Instancia 4 – Ajuste de datos y clústeres

Siguiendo las recomendaciones del WB sobre LPI, se decidió trabajar con el dato promedio de LPI y PBIPEA de los años 2010-2012-2014 y 2016. Se consideraron estos años porque los valores de LPI están completos para 160 países.

Primero se realizó un estudio de gráfico de nubes, donde se puede observar un comportamiento similar a lo que sucedía con el estudio de sólo el año 2016.

Con la nueva base de datos se procede a realizar un estudio de clúster por medio de R. Se respetó la misma metodología que en la primera instancia, dando como resultados promedios de PBIPEA cuatro clústeres: [1,] 109254, [2,] 53990, [3,] 25125, [4,] 7194.

Para ajustar la utilización de los países del clúster [4], -dado que su promedio bajó con respecto al estudio anterior- se procedió a realizar una evaluación de clúster específica, con

la misma metodología, ver figura 5-10. Arrojando los siguientes resultados: [1,] 2311, [2,] 3708, [3,] 5550, [4,] 8696.

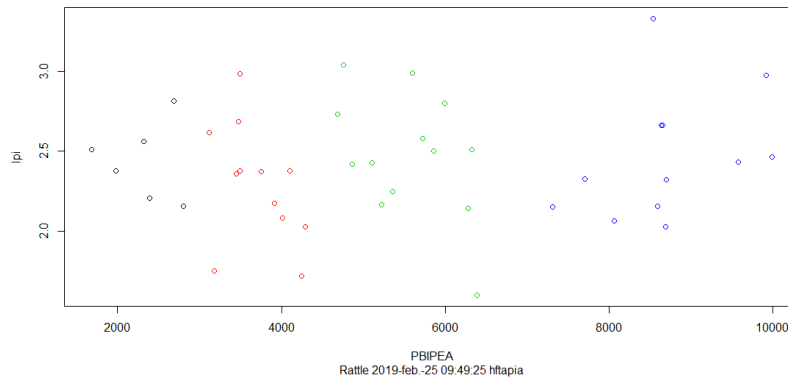


Figura 5 - 10 – Estudio de Clústeres del grupo PBIPEA<10000 (ver pág. 331 Anexo VII)

Se visualizó que el clúster 4 tiene cierta correlación que podría pertenecer a uno de los otros grupos. Se tomó la decisión de considerar sólo en esta categoría a los países con PBIPEA menor de 7.000, incluyendo los países de los clústeres [1,2,3], los cuales no presentan una correlación definida.

Dado este cambio de límite en los países con PIBPEA menor a 7.000 y al cambio de valores debido al promedio del PBIPEA, se procedió a realizar una actualización de los países pertenecientes a cada grupo. Para ello se realizó un trabajo iterativo de ajuste por medio de estudios exploratorios (distribución, correlación, clúster), siendo los resultados los siguientes:

General: Se realizó el estudio exploratorio donde se obtienen los siguientes resultados. En las formas de distribución se observó que el PBIPEA presenta cola para un lado. El resumen de valores se muestra en la figura 5-11.

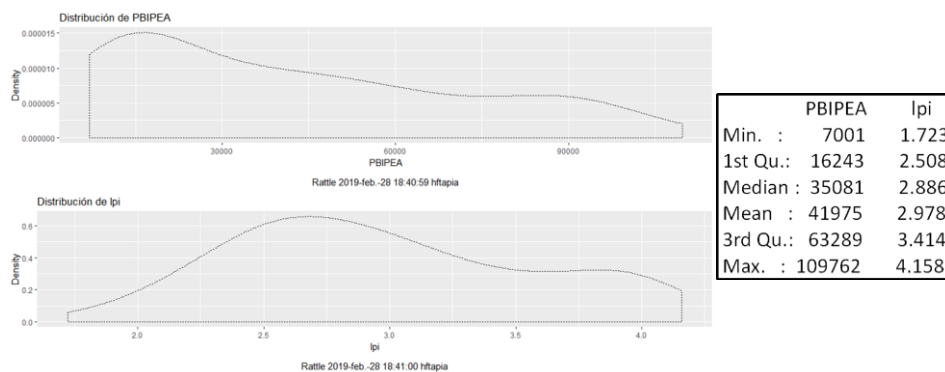


Figura 5 - 11 – Distribuciones de densidad de PBIPEA y lpi para grupo General (ver pág. 332 Anexo VII)

Realizando un análisis de clúster jerárquico se observa una correlación entre ambas variables,

ver figura 5-12. Si se utiliza el método covarianza Pearson el valor es de 0.8941. Los valores de los centros de gravedad de los clústeres son los siguientes [1,] 8640 2,33; [2,] 17191 2,59; [3,] 35895 2,82; [4,] 57128 3,22; [5,] 88158 3,83.

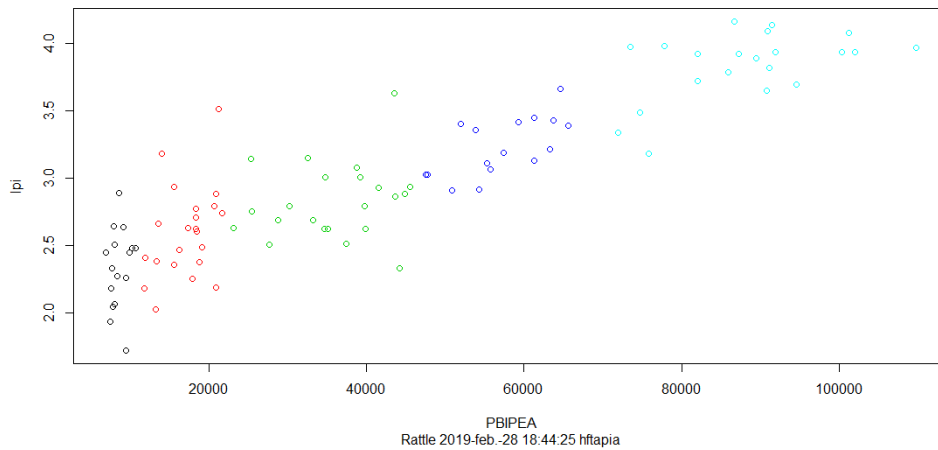


Figura 5 - 12 – Análisis de clúster jerárquico para grupo General

En el gráfico de clúster se visualizan claramente los últimos valores ingresados de PBIPEA entre 7000 y 10000. Además hay una estratificación de LPI según el valor densidad de ingresos, semejante a la realizada por el WB en (Vittorio D’aleo, 2015).

Services: Se realiza el estudio exploratorio arrojando los siguientes resultados. En las formas de distribución se visualiza que el PBIPEA sólo presenta cola para un lado. En la distribución del LPI se observa como que hubiera dos grupos de valores. El resumen de valores se muestra en la figura 5-13.

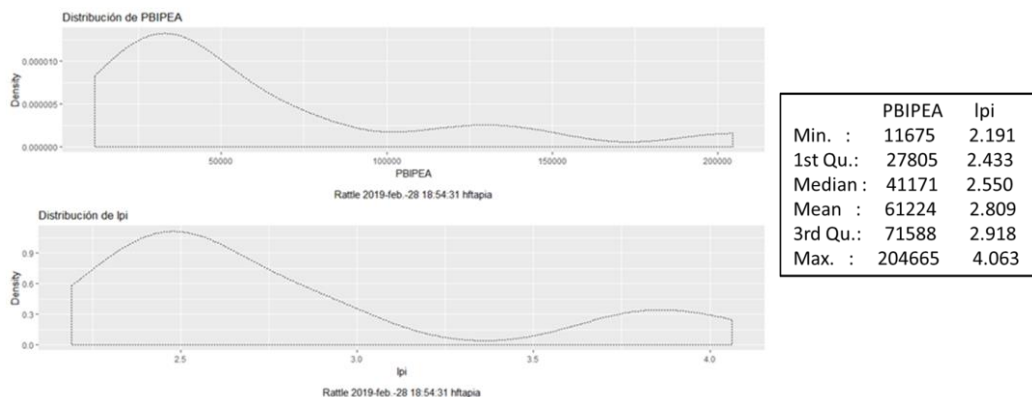


Figura 5 - 13 - Distribuciones de densidad de PBIPEA y LPI para grupo Services (ver pág. 333 Anexo VII)

Realizando un análisis de clúster jerárquico se advierte una correlación entre ambas variables, ver figura 5-14. Si se utiliza el método covarianza Pearson el valor es de 0.9252. Los valores de los centros de gravedad de los clústeres son los siguientes [1,] 31013 2,46; [2,] 71588 2,91;

[3,] 155014 3,88

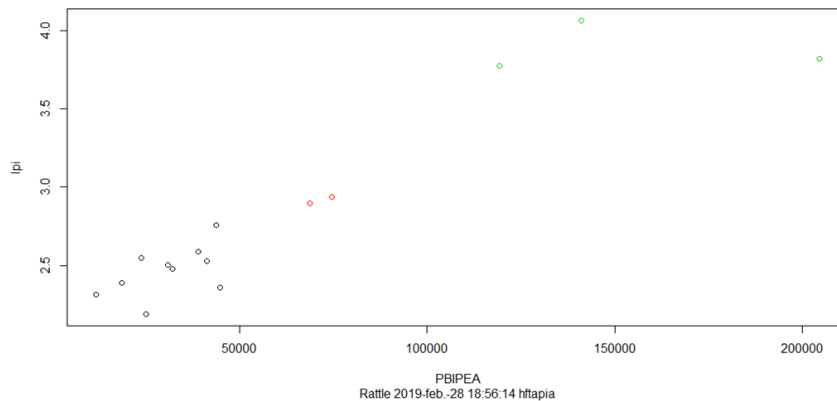


Figura 5 - 14 - Análisis de clúster jerárquico para grupo Services

En el gráfico de clúster y en los valores de centro de gravedad se visualiza la existencia de dos grupos formados por los clústeres [1,2] y el [3], confirmando lo que se observaba en el diagrama de distribución. Información que debería ser tenida en cuenta para estudios posteriores. También se percibe en el tercer clúster un valor muy distante del resto, el cual requiere un análisis especial.

Oil: Se realiza el estudio exploratorio arrojando los siguientes resultados. En las formas de distribución se observa que el PBIPEA sólo tiene cola para un lado, pero con manifestación de la existencia de dos grupos de valores. En la distribución del LPI se visualiza sólo cola para un lado. El resumen de valores se muestra en la figura 5-15.

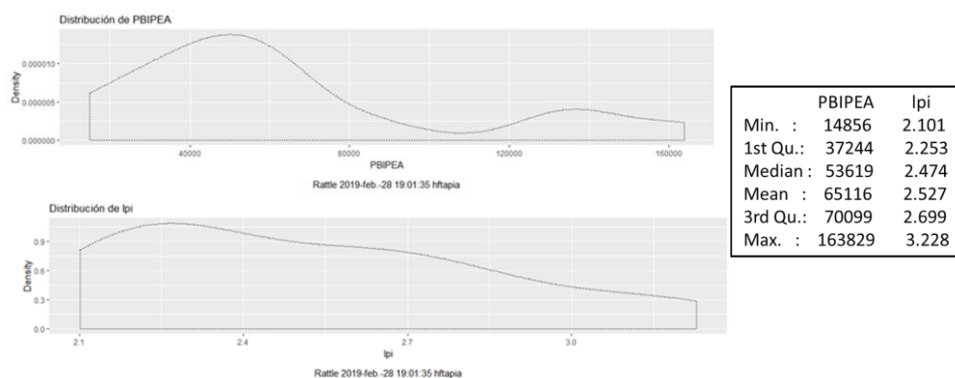


Figura 5 - 15 - Distribuciones de densidad de PBIPEA y LPI para grupo Oil (ver pág. 334 Anexo VII)

Realizando un análisis de clúster jerárquico se observa una correlación entre ambas variables, ver figura 5 - 16. Si se utiliza el método covarianza Pearson el valor es de 0,8441. Los valores de los centros de gravedad de los clústeres son los siguientes [1,] 34441 2,38; [2,] 66432 2,42; [3,] 144719 3,07.

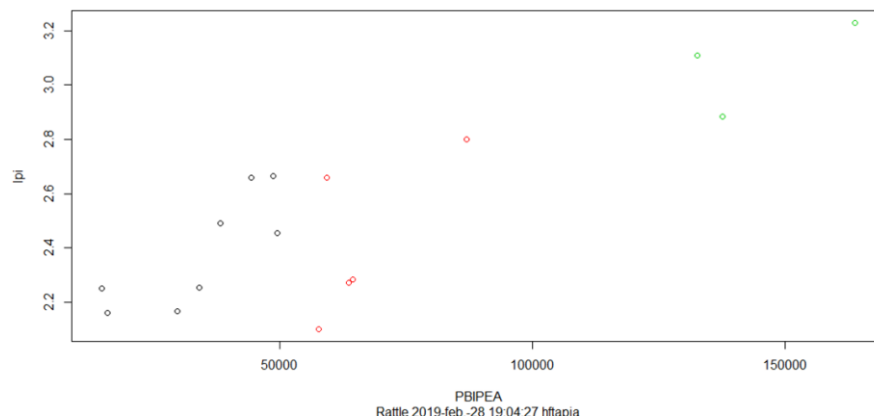


Figura 5 - 16 - Análisis de clúster jerárquico para grupo Oil (ver pág. 335 Anexo VII)

En el gráfico de clúster y en los valores de centro de gravedad se advierte la existencia de dos grupos formados por los clústeres [1,2] y el [3], confirmando lo que se observaba en el diagrama de distribución. Dicha información debería ser considerada para estudios posteriores.

PBI menor de 7000: Se realiza el estudio exploratorio arrojando los siguientes resultados, ver figura 5-17. En las formas de distribución se observa que el PBIPEA tiene una forma bastante uniforme. En la distribución del LPI se asemeja bastante a una distribución normal. El análisis de clúster ya se realizó anteriormente. En el análisis de correlación por el método de covarianza Pearson el valor es de $-0,0134$, donde se manifiesta la no existencia de correlación entre estos valores.

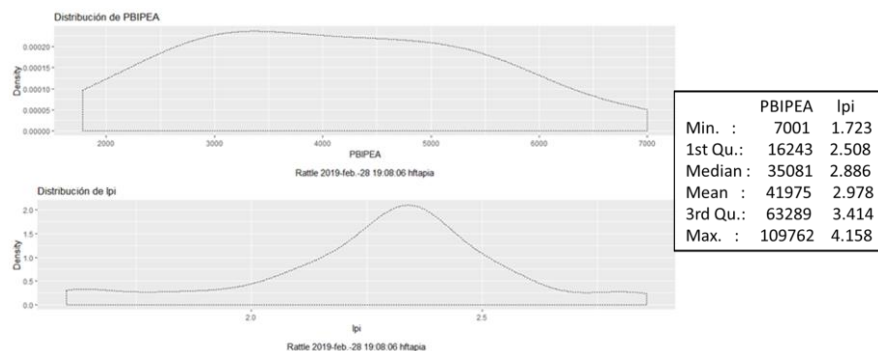


Figura 5 - 17 – Distribuciones de densidad de PBIPEA y LPI para grupo PBI < 7000 (ver pág. 336 Anexo VII)

Una vez terminado el análisis exploratorio los grupos quedaron definidos. Entonces, se procedió a realizar un nuevo cuadro de la definición de las actividades económicas predominantes en cada grupo.

5.3.1.5 Instancia 5 - Reflexión

De los análisis observados en la cuarta instancia se puede concluir que existe una correlación lineal entre PBIPEA y LPI para los tres grupos principales detectados. Si bien existe esta correlación se observa que en los distintos grupos hay una estratificación según nivel de LPI alcanzado y valores de PBIPEA. Por lo cual se realiza la siguiente etapa considerando:

- Estudiar al grupo PBIPEA menor a 7000 como sólo un grupo sin correlación definida, pero que comparten características económicas que deberían definirse.
- Los países marcados por una predominancia económica basada en el petróleo o recursos naturales de alto valor, tienen un comportamiento totalmente diferente a los otros dos grupos denominados general y servicios. Por lo cual deben ser estudiados por separado, pero se debe realizar un estudio para analizar qué países considerar definitivamente en este grupo.
- Los grupos general y servicios se estudiarán nuevamente en conjunto y se procederá a realizar una nueva estratificación, porque si bien existe en conjunto una correlación global, se observa que puede haber subgrupos.

De esta manera se busca establecer modelos lineales significativos asociados a una estratificación según actividad económica.

5.3.1.6 Instancia 6 – Modelos de correlación LPI-PBIPEA según actividad económica

Para realizar esta etapa se procedió por método iterativo entre la conformación de grupos por actividades económicas y ajustes de las regresiones lineales.

Por lo cual para las regresiones lineales se aplicaron los test necesarios para comprobar su significancia. Aplicando los supuestos de regresión lineal: normalidad, homocedasticidad, linealidad e independencia de valores. Para esto se utilizó el software R.

	GRUPOS				
	1	2	3	4	RN
R-squared =	0,9401	0,8741	0,8933	0,8399	0,7456
F-statistic p-value=	7,958E-12	2,2E-16	3,506E-10	1,065E-05	3,918E-06
Non-constant Variance Score Test p =	0,79223	0,44463	0,092082	0,90057	0,89817

Tabla 5 - 2 - Test de Regresión lineal para los distintos grupos

A continuación, en la tabla 5-2 se muestra un resumen de los distintos grupos encontrados. Se remarca con sombreado en gris aquellos valores que pueden poner en duda la significancia

de los modelos.

Algunos países no pudieron clasificarse en los diferentes grupos. Se conformó el Grupo5 con un conjunto de países que presentan características económicas y logísticas similares, más allá que no muestren correlación. Por otro lado, se puede observar países que tienen características particulares sin conformar grupos definidos. En la figura 5-18 se muestran los diferentes países y sus correlaciones por medio de regresiones lineales.

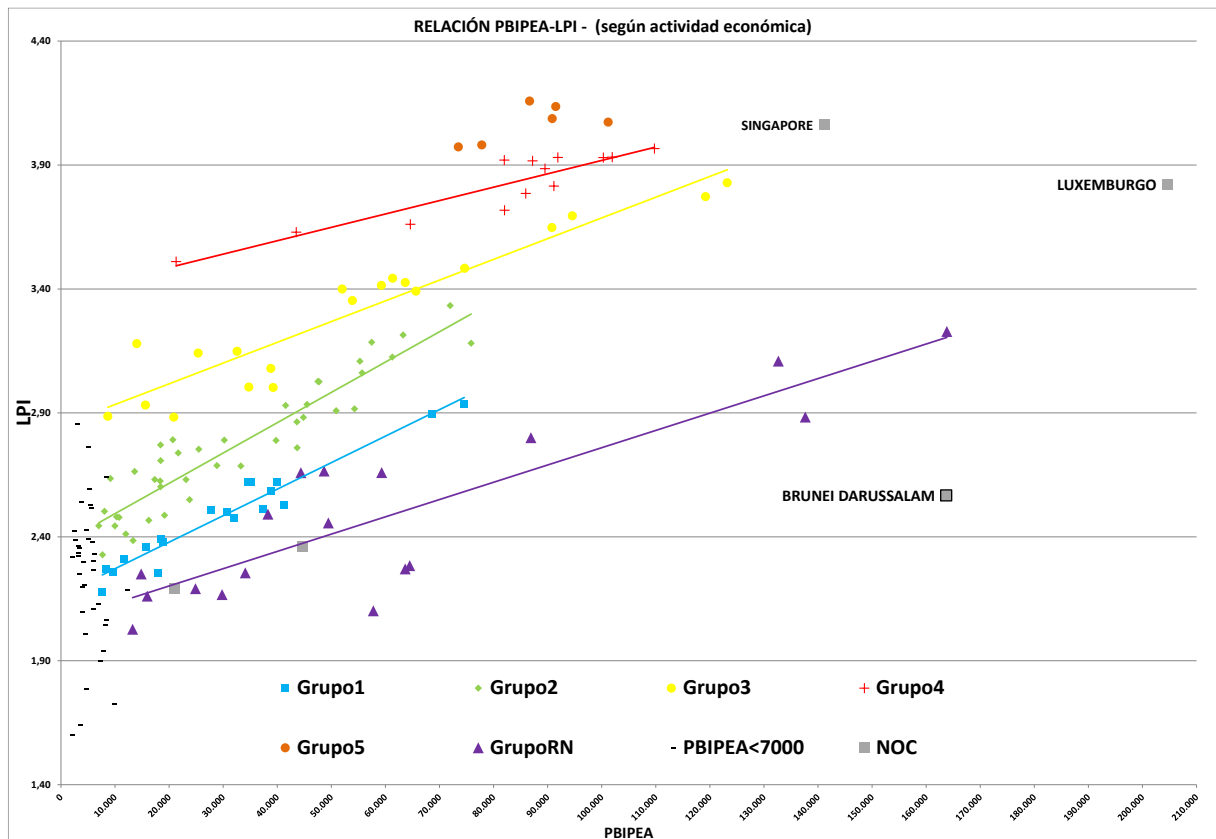


Figura 5 - 18 – Regresiones lineales por grupos (ver pág. 337 Anexo VII)

Estos grupos están asociados a características económicas comunes. En la tabla 5-3 se observa la estratificación de actividades. El grupo PIBPEA menor a 7000, predomina la actividad agrícola. Después se designó el GrupoRN donde predominan los ingresos por petróleo y/o recursos naturales de alto valor.

Luego en los grupos del 1 al 5 se observa cómo a mayor ingreso van predominando las actividades económicas con mayor valor agregado (exportación de alta tecnología) y esto asociado a un mayor valor de LPI. En el ANEXO V se encuentra el detalle de los test de linealidad y el listado de países considerados en cada grupo.

	PBIPEA 2016	Agricultura	Industrialización	Comercio de mercaderías	Exp. de mercaderías	Exp de Bienes y servicios	Exp. Combustibles	Producción de petróleo	Rentas de Recursos naturales	Tierras agrícolas	Exp.de alta tecnología	LPI
Promedio global	41.091	10%	11%	62%	15%	39%	1%	497	7%	42%	1,7%	2,79
1cuartil	9.355	2%	6%	39%	6%	21%	0%	0	1%	26%	0,0%	2,36
2cuartil	30.286	6%	11%	54%	10%	32%	0%	1	2%	42%	0,3%	2,63
3cuartil	62.079	16%	15%	73%	18%	46%	1%	102	11%	59%	1,6%	3,13
PBIPEA<7000	5.025	22%	7%	46%	7%	21%	0%	13	12%	50%	0,1%	2,28
Grupo1	30.966	10%	10%	69%	10%	44%	1%	24	4%	42%	0,6%	2,48
Grupo2	32.939	9%	12%	63%	14%	40%	1%	70	3%	43%	1,1%	2,76
Grupo3	57.892	6%	16%	73%	20%	48%	2%	621	2%	38%	2,9%	3,31
Grupo4	82.918	2%	14%	73%	31%	47%	2%	244	1%	39%	5,3%	3,82
Grupo5	89.122	1%	15%	82%	39%	50%	2%	51	0%	39%	6,2%	4,07
GrupoRN	59.190	5%	7%	54%	10%	31%	4%	3.042	20%	35%	0,4%	2,49
Brunei Darussalam	149.431	1%	11%	69%	16%	50%	14%	5.008	9%	2,7%	0%	2,57
Luxembourg	216.375	0%	5%	64%	26%	221%	0%	0	0%	50,7%	2%	3,82
Singapore	145.489	0%	18%	203%	71%	168%	8%	0	0%	0,9%	35%	4,06

Tabla 5 - 3 – Caracterización de los Grupos por Actividad Económica

5.3.2 Aplicación a la Provincia de Mendoza (RCA)

Para realizar las simulaciones del estudio explicativo en distintas zonas de Mendoza es necesario conocer alguna aproximación del nivel de servicio logístico. Datos que no se tienen en la actualidad de valores directos (medidos).

Por lo cual con el sistema de regresiones obtenido se procedió a realizar la aplicación a la Provincia de Mendoza. Para ello se recurre a los datos estadísticos del 2019 de la DEIE para obtener los valores del Producto Bruto Geográfico (PBG), equivalente al PBI circunscripto al estudio de una región de un país.

En la tabla 5-4 se observa un resumen del PBG y su incidencia en las distintas actividades económicas. Que es lo que solicita la metodología desarrollada anteriormente. Además, se considera la PEA, para calcular el coeficiente PBGPEA equivalente al PBIPEA. De esta manera se determinó por cuáles de las regresiones se debe utilizar para determinar el LPI. En el gráfico (ver figura 5-19) siguiente se observa la situación de los distintos departamentos de Mendoza.

Lo mismo se realizó por medio de georreferenciación en las localidades principales de los departamentos. Se representa en forma de NS y con la superposición de la infraestructura de carretera principal (ver figura 5-20).

Zona y Dpto.	PBGPEA	Agricultura	Industrialización	Comercio	Servicios	Prod. Petróleo y rentas RN	CLASIFICACIÓN PARA LPI	LPI	NS
Mendoza	20.588	5,7%	14,6%	22,9%	20,2%	7,1%	G3	3,01	60%
Capital	58.101	0,0%	2,9%	38,2%	23,6%	0,0%	G4	3,67	73%
Gral. Alvear	17.782	16,9%	6,2%	17,6%	28,0%	0,0%	G1	2,34	47%
Godoy Cruz	19.387	0,0%	10,4%	38,2%	19,4%	0,0%	G4	3,48	70%
Guaymallén	12.183	0,8%	9,2%	31,3%	23,0%	0,0%	G4	3,44	69%
Junín	17.833	13,4%	30,3%	10,2%	21,3%	0,0%	G1	2,34	47%
La Paz	15.779	9,7%	0,6%	11,8%	44,4%	0,0%	G2	2,53	51%
Las Heras	9.213	1,3%	8,9%	19,6%	26,2%	0,0%	G2	2,46	49%
Lavalle	13.715	33,3%	9,9%	11,1%	23,5%	0,0%	G1	2,30	46%
Luján de Cuyo	37.630	2,2%	52,5%	9,3%	8,9%	4,4%	G3	3,15	63%
Maipú	13.799	6,5%	23,7%	16,0%	20,4%	1,0%	G3	2,96	59%
Malargüe	71.333	5,2%	0,5%	4,7%	6,3%	77,3%	RN	2,56	51%
Santa Rosa	17.435	31,2%	8,7%	7,1%	26,6%	0,0%	G1	2,34	47%
Rivadavia	19.450	12,6%	11,6%	15,1%	20,5%	16,1%	G2	2,57	51%
San Carlos	7.638	17,1%	2,8%	10,2%	19,0%	28,5%	G2	2,45	49%
Gral. San Martín	16.603	16,3%	13,6%	17,8%	24,6%	0,0%	G2	2,54	51%
San Rafael	17.290	11,8%	7,6%	22,0%	26,5%	1,5%	G1	2,34	47%
Tupungato	18.268	14,3%	2,1%	11,7%	17,5%	31,7%	RN	2,19	44%
Tunuyán	14.493	15,5%	6,5%	24,3%	24,2%	0,0%	G1	2,31	46%
							MZA	3,01	60%
							ARG	2,93	59%

Tabla 5 - 4 – Tabla resumen de definición de LPI según tipo de grupo para Mendoza

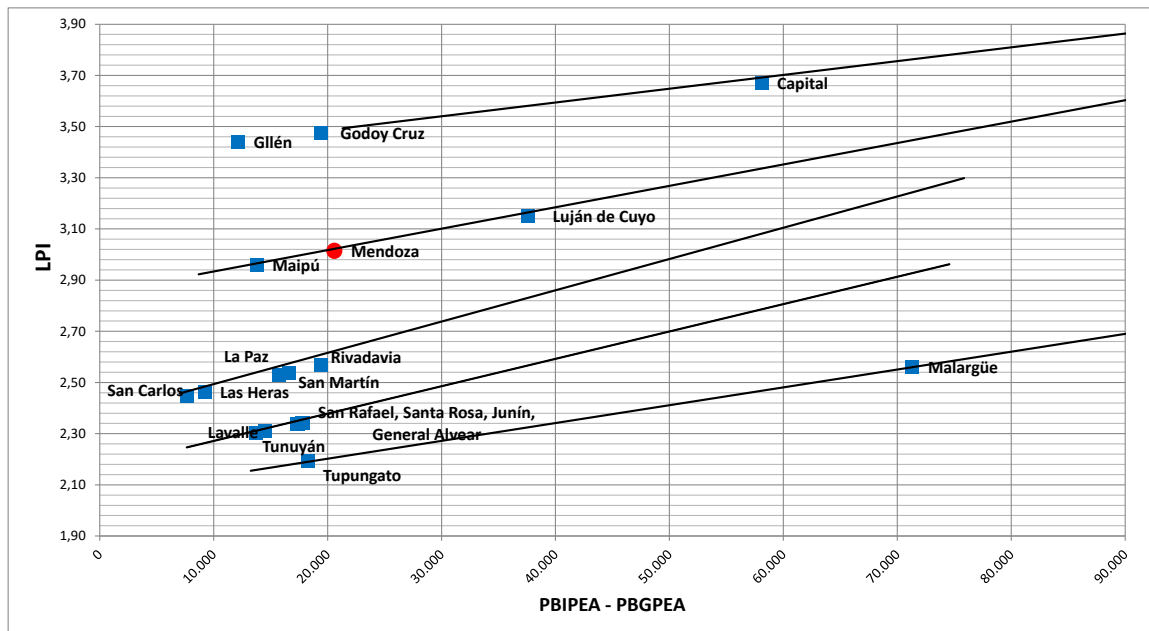


Figura 5 - 19 - Estimaciones por medio de Regresiones lineales – Para Mendoza

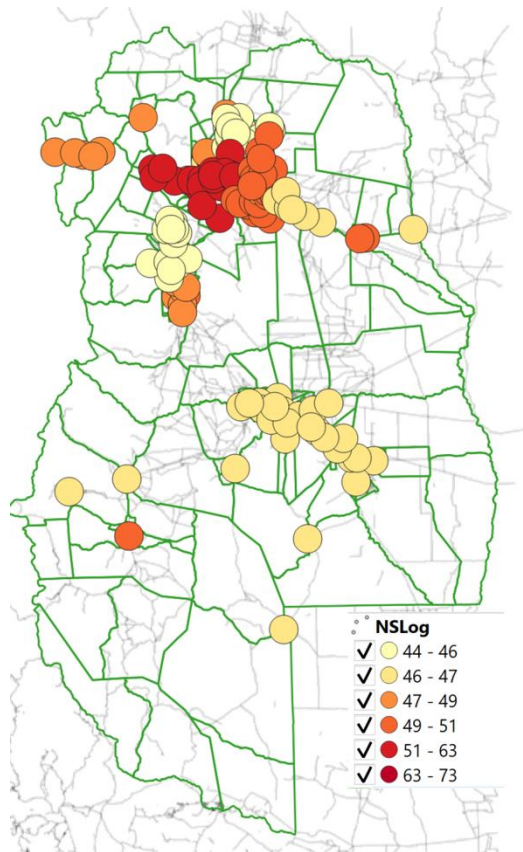


Figura 5 - 20 – Estimaciones de niveles de servicio logístico para localidades de la provincia de Mendoza, Argentina.

De esta manera se puede obtener valores aproximados de los rendimientos logísticos en las principales localidades de la provincia. Lo cual se relacionará con los NSPREG del cuestionario.

5.4 Conclusiones

Del estudio de correlación entre NS y rendimiento de proyectos se concluye que no hay correlaciones directas (para el set de datos obtenidos en la encuesta). Por lo cual un modelo predictivo basados en correlaciones no es útil para la resolución de la situación problema planteada.

Con respecto al análisis correlacional del LPI se concluye la existencia de evidencia significativa para la relación entre el LPI y el PBIPEA, si se observan los valores promedio de la tabla 5-3. Los grupos PBIPEA menor a 7000 y del Grupo1 al Grupo5 esta relación es significativa. No sucede lo mismo con el GrupoRN que tiene un comportamiento distinto. Continuando con este análisis se observa que existe una relación entre la actividad económica principal y el aumento de la performance logística.

Se evidencia que los indicadores de menor valor se encuentran en los países donde predominan las actividades primarias y los mayores en aquellos que tienden a actividades cuaternarias de la economía. Los valores del desarrollo logístico de los países del Grupo RN tienden hacia las actividades primarias, aunque su PBIPEA sea alto.

Si bien se han encontrado regresiones lineales estadísticamente significativas para los grupos 1 a 4 y grupo RN, se debe acotar las mismas al conjunto de datos y a la metodología utilizada para el análisis. Se debería continuar con una investigación más exhaustiva con una mayor cantidad de datos.

El resultado de este apartado de la tesis ayuda a tener un modelo de regresión lineal que permite obtener valores de performance logística a través de indicadores económicos, poblacionales y de actividades económicas predominantes. Lo cual será beneficioso para la estimación de valores que se podrán utilizar como entrada en el modelo predictivo.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO EXPLICATIVO

PARTE I - MODELO

6 CAPÍTULO - ESTUDIO EXPLICATIVO - Parte I - MODELO

6.1 Modelo

En la metodología se mencionó que para esta etapa se procedería a la simulación dado que no es posible realizar un experimento real en la CSC de un proyecto. Para realizar esta simulación se procederá a parametrizar el modelo conceptual desarrollado en la etapa descriptiva (figura 6-1).

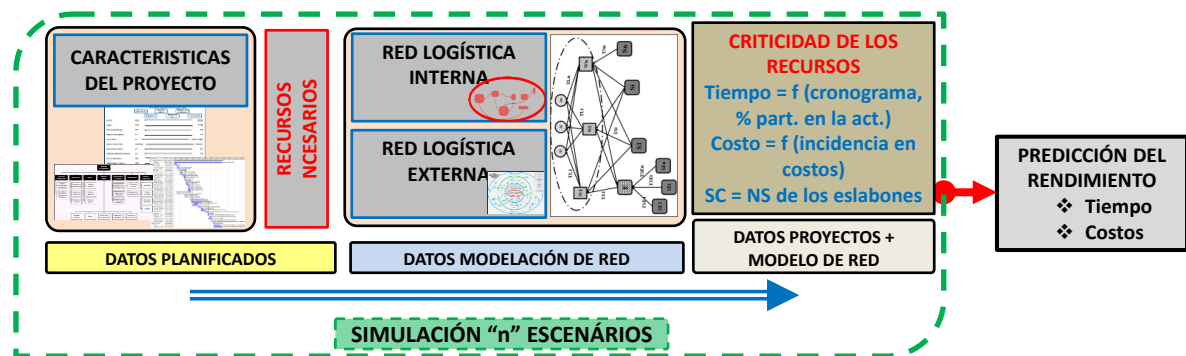


Figura 6 - 1 – Modelo Conceptual

6.1.1 Datos planificados

➤ Características del Proyecto (Caso1)

Para realizar el estudio explicativo se tomó como base un proyecto de laboratorio con el cual se realizarían las distintas simulaciones por los distintos métodos.

El alcance del proyecto consiste en la construcción de un galpón. El mismo cuenta de 15 actividades, con sus respectivas duraciones y costos. Los valores estimados, de estas variables, son realizados por juicio de expertos, según el estado del arte de la RCA. Estas estimaciones están relacionadas con la CSC que trabajan los expertos y son valores medios.

Por lo cual la planificación del proyecto cuenta con: un diagrama de red, la estimación de las duraciones y los costos. A continuación, en las figuras se observan estos datos:

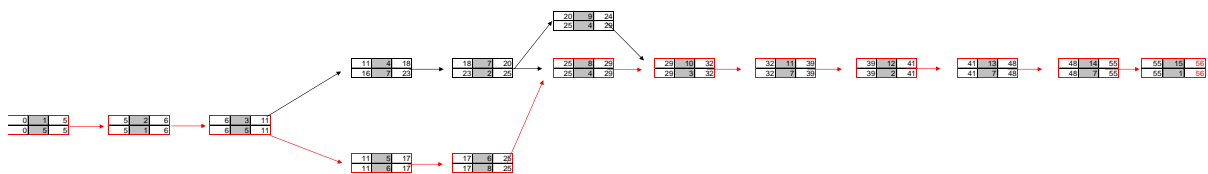


Figura 6 - 2 – Secuenciación de actividades (ver pág. 338 Anexo VII)

En el diagrama de red (figura 6-2) se observa el camino crítico del proyecto que es de una

duración de 56 unidades de tiempo (ut). Este proyecto tiene un segundo camino subcrítico que es de 51 ut.

En la tabla 6-1 se observa las duraciones, las actividades críticas y los costos directos e indirectos del proyecto y en la figura 6-3 la curva de costos acumulados, que representan la planificación del proyecto.

N°	NOMBRE	predece- soras	CC	H	D	COSTOS		
						RECURSOS	INDIRECTOS	TOTAL
						\$	\$	\$
1	Nivelación	0	1,0	0,0	5,0	4.700	705	5.405
2	Obrador	1	1,0	0,0	1,0	900	135	1.035
3	Cerco Perimetral	2	1,0	0,0	5,0	13.200	1.980	15.180
4	Excavación	3	0,0	5,0	7,0	13.600	2.040	15.640
5	Armadura de bases	3	1,0	0,0	6,0	7.400	1.110	8.510
6	Armadura de pisos	5	1,0	0,0	8,0	13.600	2.040	15.640
7	Hormigon de bases	4	0,0	5,0	2,0	6.000	900	6.900
8	Hormigon de pisos	6;7	1,0	0,0	4,0	18.800	2.820	21.620
9	Ensamblaje de torre	7	0,0	5,0	4,0	14.300	2.145	16.445
10	Montaje de columnas	8;9	1,0	0,0	3,0	15.500	2.325	17.825
11	Ensamblaje de techo	10	1,0	0,0	7,0	34.000	5.100	39.100
12	Montaje de torre y techo	11	1,0	0,0	2,0	8.600	1.290	9.890
13	Ajustes finales torre y techo	12	1,0	0,0	7,0	21.200	3.180	24.380
14	Colocación de chapa de techo	13	1,0	0,0	7,0	10.100	1.515	11.615
15	Retiro de la obra	14	1,0	0,0	1,0	1.000	150	1.150
			CC	56	69,0	182.900	27.435	210.335

Tabla 6 - 1 – Resumen de planificación del proyecto

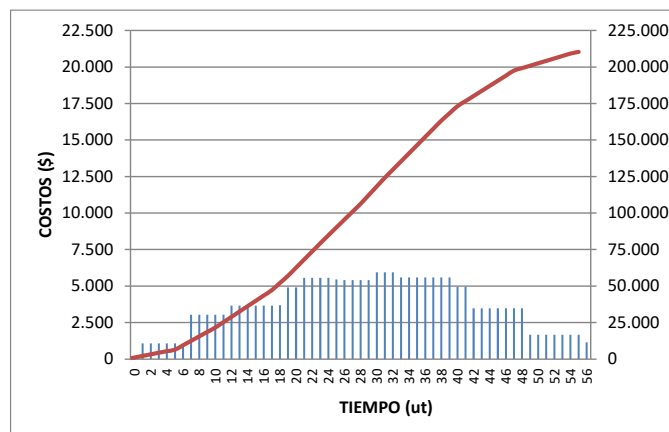


Figura 6 - 3 – Flujo de costos acumulados (Curva S)

➤ **Recursos necesarios**

El modelo solicita como dato de entrada la participación de los recursos en cada una de las actividades. En este caso en el modelo se han considerado los siguientes recursos:

- **Recursos internos al contratista:** mano de obra y equipamiento.
- **Recursos externos al contratista:**

- **Bienes:** regionales, nacionales e internacionales.
- **Servicios:** regionales, nacionales e internacionales.

Considerando esta división es que se analizó cada actividad y se fueron estimando la cantidad de recursos que tiene cada una de ellas en función de su costo. En la tabla 6-2 se observa la distribución de recursos.

N°	NOMBRE	RECURSOS INTERNOS				RECURSOS EXTERNOS								COSTOS RECURSOS \$						
		MdO		E		BIENES				SERVICIOS										
		COSTO		ORIGEN		COSTO		ORIGEN		COSTO		ORIGEN								
		\$	%	\$	%	Materiales \$	REG \$/%	N \$/%	I \$/%	SERVICIOS	REG \$/%	N \$/%	I \$/%							
1	Nivelación	1.100	0,23	3.600	0,77	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0	4.700			
2	Obrador	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0	900			
3	Cerco Perimetral	4.700	0,36	0	0,00	8.500	0	0,00	1.900	0,14	6.600	0,50	0	0	0	0	13.200			
4	Excavación	9.000	0,66	4.600	0,34	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0	0	13.600			
5	Armadura de bases	3.700	0,50	0	0,00	3.700	2.200	0,30	0	0,00	1.500	0,20	0	0	0	0	7.400			
6	Armadura de pisos	6.700	0,49	0	0,00	6.900	3.500	0,26	3.400	0,25	0	0,00	0	0	0	0	13.600			
7	Hormigon de bases	2.200	0,37	0	0,00	3.800	2.400	0,40	1.400	0,23	0	0,00	0	0	0	0	6.000			
8	Hormigon de pisos	7.500	0,40	0	0,00	11.300	9.200	0,49	0	0,00	2.100	0,11	0	0	0	0	18.800			
9	Ensamblaje de torre	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	14.300	14.300	1,00	0	14.300			
10	Montaje de columnas	2.000	0,13	0	0,00	11.300	0	0,00	11.300	0,73	0	0,00	2.200	2.200	0,14	0	15.500			
11	Ensamblaje de techo	7.100	0,21	0	0,00	26.900	6.800	0,20	13.300	0,39	6.800	0,20	0	0	0	0	34.000			
12	Montaje de torre y techo	3.000	0,35	0	0,00	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	5.600	0	0,00	5.600	8.600			
13	Ajustes finales torre y techo	10.600	0,50	0	0,00	10.600	0	0,00	0	0,00	10.600	0,50	0	0	0	0	21.200			
14	Colocación de chapa de techo	3.000	0,30	0	0,00	7.100	0	0,00	0	0,00	7.100	0,70	0	0	0	0	10.100			
15	Retiro de la obra	600	0,60	400	0,40	0	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0	0,00	0	1.000			
		61.200	0,33	8.600	0,05	90.100	24.100	0,13	31.300	0,17	34.700	0,19	23.000	17.400	0,1	5.600	0,03	0	0	182.900

Tabla 6 - 2 – Resumen de recursos

La distribución de recursos estimada queda conformada por: 61 % regional (internos y externos), 20 % nacional (externos) y 19 % internacional (externos). Esta distribución es cercana a los valores promedios obtenidos en el cuestionario (capítulo 4).

6.1.2 Datos de modelación de red

Para la modelación de la red se tendrá en cuenta el origen de los proveedores de las categorías de los recursos. Para cada recurso se considerará un NS para los distintos proveedores. Esta parametrización se realiza con el análisis de variables del apartado 5.1.

Red logística Interna:

- Mano de obra: MdO
- Equipamiento: NSC
- Almacenes: NSW
- Nivel de servicio de abastecimiento en el sitio del proyecto: NSS

Red logística externa:

- Bienes y Servicios regionales: NSPREG
- Bienes y Servicios Nacionales: NSArg y el transporte a destino NSPMIX

- Bienes y Servicios Internacionales: se considera relacionado con el NS del país de origen NSInt, el NS del país de destino NSArg y el transporte hasta destino NSPMIX.
- Infraestructura: NSI

En cada uno de los métodos se utilizará los datos según corresponda y se detallará en los apartados siguientes.

6.1.3 Datos planificados y de modelo de Red

Una de las actividades principales de un director de proyecto es poder evaluar cuál es la criticidad de las actividades y de los recursos dentro de su proyecto. Esto se realiza con el objetivo de centrarse en aquello que tiene mayor influencia. Con los datos que se tienen hasta el momento esta actividad, en la práctica, se realiza de la siguiente manera.

- Caracterizar la criticidad de las actividades por medio de su influencia en tiempos (perteneciente al camino crítico) y su incidencia en costos (incidencia en el costo total). En la figura siguiente se observa esta caracterización. Se determinó un índice de criticidad en tiempos en función de la holgura ($I_{cti} = 1 - H_i/D_{OP}$), donde D_{OP} es la duración del camino crítico. Además, un índice de criticidad en costos $I_{cci} = C_{oi} / C_{oP}$. (costo inicial de la actividad dividido el costo inicial total del proyecto). Para determinar los cuadrantes se realizó por medio del método del centro de gravedad. En el gráfico se observa la criticidad de las distintas actividades (figura 6-4).

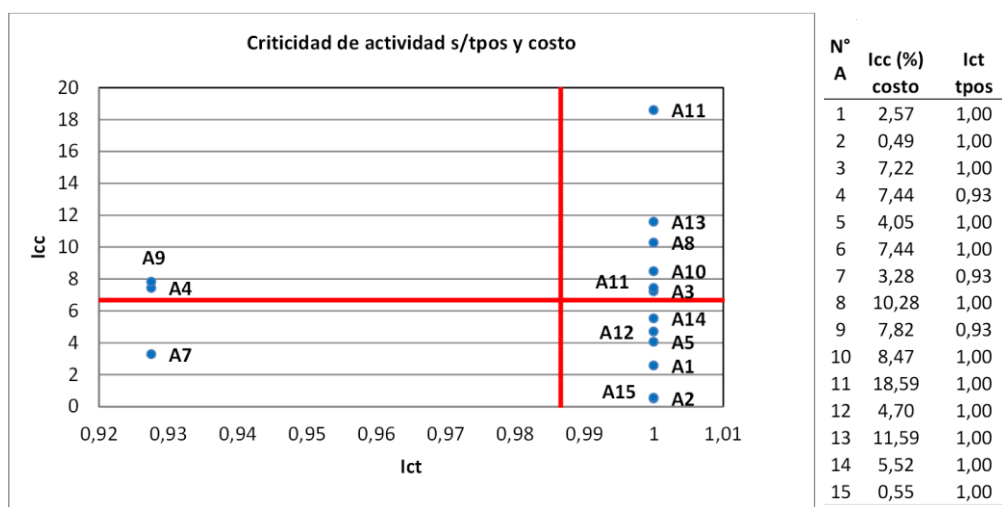


Figura 6 - 4 – Criticidad de Actividades

- En cuanto a los recursos se podría caracterizar su criticidad por medio de la matriz de Kraljic (figura 6-5). Donde se tiene en cuenta el riesgo del mercado de suministros y el impacto que pueden ocasionar en el resultado del proyecto. Para la determinación se utiliza el índice de criticidad de costo del grupo de recursos ($I_{CCR} = \sum C_R/C_{OP}$; para un grupo de recursos). Además, se determinó el riesgo del mercado de suministro del grupo de recurso cómo la inversa del producto de la probabilidad del valor más frecuente por su frecuencia ($k_{SCR} = 1/(P_{vmf_{SCR}} * f_{vmf_{SCR}})$). Para determinar los cuadrantes se realizó por medio del método del centro de gravedad. En la figura 6-5 se observa la caracterización de los recursos.

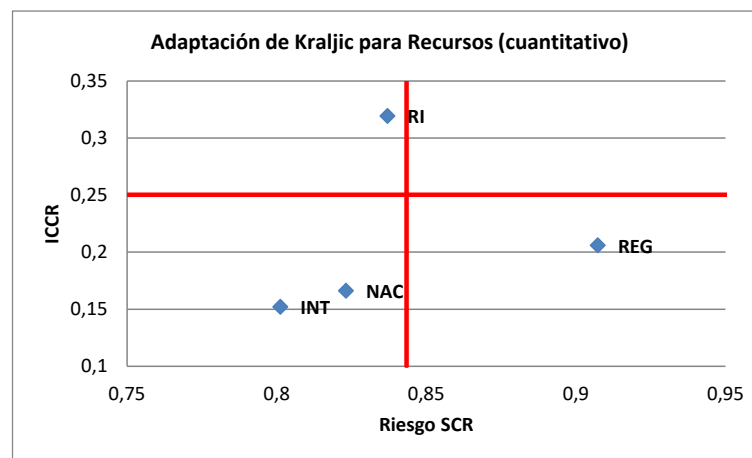


Figura 6 - 5 – Criticidad de Recursos

Esta caracterización determinada a priori será comparada con los resultados obtenidos de la conjunción de los datos por medio del método de simulación.

6.1.4 Métodos de simulación

Para predecir los resultados del proyecto se procederá a realizar una simulación. Esta se realizará por tres métodos:

- **Método Monte Carlo:** se aplica este método para realizar la parametrización del modelo y observar la influencia de las variables. Con los resultados finales se predecirá el comportamiento del proyecto.
- **Métodos del segundo momento:** se aplica para realizar comprobaciones con respecto a los valores medios obtenidos en el Método Monte Carlo y observar el comportamiento de las correlaciones y la matriz de covarianza.
- **Método de Modelo Basado en Agentes:** se modela para comprobar los resultados del

método Monte Carlo y parametrizar este método. Además, se utiliza para simular situaciones de resultados de aprendizaje o evolución.

6.1.5 Supuestos de Predicción

Dentro de los resultados a analizar se utilizarán los valores de costos y duración del proyecto. Para su determinación se realizará la suma de los valores de las variables para las diferentes actividades. El valor inicial del costo del proyecto ($C_{OP} = \sum_i C_{0i}$) y duración inicial del camino crítico ($D_{CC0} = \sum_i D_{0icc}$) (siendo i el número de actividades que varía de 1 a n). Los valores finales después de ejecutado el proyecto son $C_{fP} = \sum_i C_{fi}$ y $D_{fP} = \sum_i D_{ficc}$. Una vez determinados estos valores se pueden calcular el rendimiento del costo (CPI) y del cronograma (SPI), descritos en el capítulo 3. Donde el $EV = C_{OP}$; $VP = C_{OP} * D_{fP} / D_{OP}$ (que es el equivalente a un VP a la finalización del proyecto con aumento de la duración del proyecto) y $AC = C_{fP}$. Aplicada las fórmulas los valores de los rendimientos se calculan de la siguiente manera:

$$CPI = C_{OP} / C_{fP} \quad SPI = D_{OP} / D_{fP}$$

6.1.5.1 Primer Supuesto

Debido a la forma de estimación de los costos y duraciones de las actividades se considera que los valores medios de las variables (costo-duración) no varían. Sólo se produce una desviación debido a la incertidumbre de los NS de los proveedores de recursos de la PSN (red de abastecimiento del proyecto). Esto se produce a causa de que se considera que se trabaja con la misma PSN.

La variación del NS es ($\Delta NS_{ji} = m_j - NS_{ji}$), donde m es la media de la distribución de probabilidad del NS del recurso j y NS_{ji} es el valor real que tiene el NS del recurso j de la actividad i .

Se considera que la variación de costos y duración son proporcionales a la variación del NS de la provisión de cada recurso. A continuación, se observan la variación del costo y de la duración.

$$\Delta C_i = C_{0i} \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri}) \quad ; \quad \Delta D_i = D_{0i} \sum_j k_{Dj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})$$

(i se refiere a la actividad, j se refiere a los recursos, k_c es una constante que depende de la influencia del NS sobre el costo para cada tipo de recurso, su valor se fundamentará en el supuesto 3).

Por lo cual sustituyendo en las ecuaciones de los valores finales de las variables las ecuaciones

quedarían de la siguiente manera.

$$C_{fi} = C_{0i} + \Delta C_i = C_{0i} + C_{0i} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})$$

$$C_{fP} = \sum_i C_{fi} = \sum_i (C_{0i} + C_{0i} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})) = C_{OP} + \sum_i C_{0i} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})$$

$(C_{0ji} / C_{0Ri}) = i_{ji}$ (incidencia del recurso en función del costo de la actividad)

$$C_{fP} = C_{OP} + \sum_i C_{0i} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * i_{ji}$$

$$D_{fi} = D_{0i} + \Delta D_i = D_{0i} + D_{0i} * \sum_j k_{Dj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})$$

$$D_{fP} = \sum_i D_{fi} = \sum_i (D_{0i} + D_{0i} * \sum_j k_{Dj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})) = D_{OP} + \sum_i D_{0i} * \sum_j k_{Dj} * \Delta NS_{ji} * (C_{0ji} / C_{0Ri})$$

$$D_{fP} = D_{OP} + \sum_i D_{0i} * \sum_j k_{Dj} * \Delta NS_{ji} * i_{ji}$$

(NOTA: cuando se trata de la estimación de la duración sólo se deben considerar las actividades del camino crítico "CC")

En relación a estas consideraciones el valor del CPI quedaría de la siguiente manera

$$CPI = C_{OP} / C_{fP} = C_{OP} / (C_{OP} + \sum_i C_{0i} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * i_{ji})$$

$$= 1 / [1 + (\sum_i (C_{0i} / C_{OP}) * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * i_{ji})] = ;$$

$(C_{0i} / C_{OP}) = i_{Ci}$; es la incidencia de la actividad en el costo total del proyecto

$$= 1 / [1 + (\sum_i i_{Ci} * \sum_j k_{Cj} * \Delta NS_{ji} * i_{ji})] ; \text{reemplazando } \Delta NS_{ji}$$

$$= 1 / [1 + (\sum_i i_{Ci} * \sum_j k_{Cj} * (m_{ji} - NS_{ji}) * i_{ji})] ; \text{intercambiando el orden de las sumatorias}$$

$$= 1 / [1 + \sum_j k_{Cj} (\sum_i i_{Ci} * (m_{ij} - NS_{ij}) * i_{ij})]$$

$$= 1 / [1 + \sum_j k_{Cj} (\sum_i i_{Ci} * m_{ij} * i_{ij} - \sum_i i_{Ci} * NS_{ij} * i_{ij})]$$

$\sum_i i_{Ci} * m_{ij} * i_{ij} = NSm_j$; promedio ponderado del nivel de servicio medio de un recurso para todas las actividades

$\sum_i i_{Ci} * NS_{ij} * i_{ij} = NS_j$; promedio ponderado del nivel de servicio de un recurso para todas las actividades

$$CPI = 1 / [1 + \sum_j k_{Cj} (NSm_j - NS_j)]$$

; si para el análisis se realiza la simplificación de que k_{Cj} es igual para todos los recursos "kc"

$$= 1 / [1 + k_C \sum_j (NSm_j - NS_j)]$$

; donde el primer término es la media del NS de la PSN XNS_{PSN} que es una constante para una red de abastecimiento de un proyecto y el segundo término es el NS de la red de abastecimiento del proyecto para una determinada situación NS_{PSN}

$$\mathbf{CPI = 1 / [1 + k_c * (XNS_{PSN} - NS_{PSN})]}$$

En relación a estas consideraciones se realiza lo mismo para el SPI

$$\begin{aligned} \text{SPI} &= D_{OP} / D_{fP} = D_{OP} / (D_{OP} + \sum_i D_{O_i} * \sum_j k_{D_j} * \Delta NS_{j_i} * i_{j_i}) \\ &= 1 / [1 + (\sum_i (D_{O_i} / D_{OP}) * \sum_j k_{D_j} * \Delta NS_{j_i} * i_{j_i})] = ; \end{aligned}$$

$(D_{O_i} / D_{OP}) = i_{D_i}$; es la incidencia de la actividad en duración total del proyecto

$$\begin{aligned} &= 1 / [1 + (\sum_i i_{D_i} * \sum_j k_{D_j} * \Delta NS_{j_i} * i_{j_i})] ; \text{reemplazando } \Delta NS_{j_i} \\ &= 1 / [1 + (\sum_i i_{D_i} * \sum_j k_{D_j} * (m_{j_i} - NS_{j_i}) * i_{j_i})] ; \text{intercambiando el orden de las sumatorias} \\ &= 1 / [1 + \sum_j k_{D_j} (\sum_i i_{D_i} * (m_{ij} - NS_{ij}) * i_{ij})] \\ &= 1 / [1 + \sum_j k_{D_j} (\sum_i i_{D_i} * m_{ij} * i_{ij} - \sum_i i_{D_i} * NS_{ij} * i_{ij})] \end{aligned}$$

$\sum_i i_{D_i} * m_{ij} * i_{ij} = NSm_j$; promedio ponderado del nivel de servicio medio de un recurso para todas las actividades

$\sum_i i_{D_i} * NS_{ij} * i_{ij} = NS_j$; promedio ponderado del nivel de servicio de un recurso para todas las actividades

$$\mathbf{SPI = 1 / [1 + \sum_j k_{D_j} (NSm_j - NS_j)]}$$

; si para el análisis se realiza la simplificación de que k_{C_j} es igual para todos los recursos "k_c"

$$= 1 / [1 + k_D \sum_j (NSm_j - NS_j)]$$

$$\mathbf{SPI = 1 / [1 + k_D * (XNS_{PSN} - NS_{PSN})]}$$

Para las ecuaciones del CPI y SPI, XNS_{PSN} es una constante que está en función de la red (SN) que se ha modelado. Se puede analizar que los rendimientos en costos y tiempos del proyecto están en función del valor que tome el NS_{PSN} . A mayor NS_{PSN} mayor será el CPI y el SPI. En el caso que la provisión de los recursos fuera según lo planificado (en este caso $NS_{SNP} = XNS_{SNP}$) la diferencia entre paréntesis sería cero y el CPI/SPI = 1. Para el caso que la variación del NS no tuviera influencia sobre las variables $k_{C/d} = 0$; el CPI/SPI = 1.

6.1.5.2 Segundo supuesto

Para la estimación de las constantes de proporcionalidad entre la variación del NS y las variaciones de costo y duración se utilizarán los valores obtenidos en el cuestionario. En este instrumento se habían determinado los NS de los recursos internos y externos y su influencia sobre la variación de costos y duración (RIVC, RIVT, REVC, REVT, definidos en capítulo 5). Además, se estimó los desvíos en costos y tiempos de todo el proyecto (PVT – PVC). Para este análisis sólo se utilizarán valores medios (tabla 6-3).

RECURSOS	DESVÍOS (%)				INFLUENCIA	
	Individual		en los valores del proyecto		relativa a los desvíos totales	
	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo	Tiempo	Costo
Externos	10,1	8,2	4,5	1,8	0,46	0,44
Internos	11,7	10,5	5,3	2,3	0,54	0,56
	TOTALES		9,8	4,2		

Proyecto	DESVÍOS (%)	
	Tiempo	Costo
	44,9	22,3

Tabla 6 - 3 –Valores de referencia según cuestionario

Lo que se puede obtener del cuestionario es la influencia relativa que tienen el conjunto de los recursos internos (pertenecientes a la red interna) y externos (pertenecientes a la red externa).

Para obtener cuáles son los valores de las constantes $k_{C/Dj}$, se deberá calibrar los parámetros de simulación, manteniendo la relación de las influencias relativas. El coeficiente de proporcionalidad podrá determinarse para las categorías de recursos internos y externos para las dos variables.

Cuando se determine cuáles son los coeficientes de proporcionalidad se deberá tener en cuenta que los valores medios de desvío contengan la influencia que tienen los recursos sobre el rendimiento del proyecto (desvío en tiempo 9,8 %, SPI = 0,902 y desvío en costo 4,2 %, CPI = 0,958).

6.1.5.3 Tercer supuesto

No se ha determinado previamente cuáles son las correlaciones entre las distintas actividades. En este caso que se discretiza a partir de los recursos, no se ha determinado la correlación

entre los distintos recursos de las distintas actividades. Situación que también es difícil de inferir en la realidad. Por lo cual, para las simulaciones se deberá tener en cuenta dos estados: independencia (estado I) y correlación máxima (estado CM) entre los recursos de las actividades.

El estado I se logra suponiendo que todos los recursos para todas las actividades pueden tener un NS diferente. En cambio, el estado CM se obtiene suponiendo que cada tipo de recurso para todas las actividades tiene el mismo NS.

6.2 Simulación Monte Carlo

Según lo explicado en el apartado anterior se realiza por medio de planilla de cálculo.

6.2.1 Constantes de proporcionalidad ($K_{C/Dj}$)

Para poder observar cuál es el comportamiento del rendimiento del proyecto, lo primero que se realiza es la parametrización de las variables $K_{C/Dj}$. En este caso de la ecuación:

$$CPI = 1 / [1 + \sum_j k_{Cj} (NS_{m_j} - NS_j)]$$

Si k_{Cj} se transforma en una constante de proyecto por el nivel de influencia relativa de los desvíos totales (supuesto 2) de cada tipo de recurso, $k_{Cj} = k * q_{Cj}$. Donde los valores de q_{Cj} son constantes para los proyectos de la RCA.

$$CPI = 1 / [1 + k * \sum_j q_{Cj} (NS_{m_j} - NS_j)]$$

$$SPI = 1 / [1 + k * \sum_j q_{Dj} (NS_{m_j} - NS_j)]$$

Para obtener el valor de k se realizan simulaciones haciendo variar el valor de la constante. Si k es cero (0) el SPI y CPI son iguales a 1. Se determinó que se utilizarían simulaciones de 1000 iteraciones, en cada uno de los estados (independencia y correlación máxima). De las cuales se obtienen los promedios del NS_{PSN} , del CPI y SPI.

Los resultados obtenidos para el $NS_{PSN} = 0,605$ para ambos estados, lo cual es producto de cómo está armado el modelo. Los valores de CPI y SPI en función de k se observan en la figura 6-6.

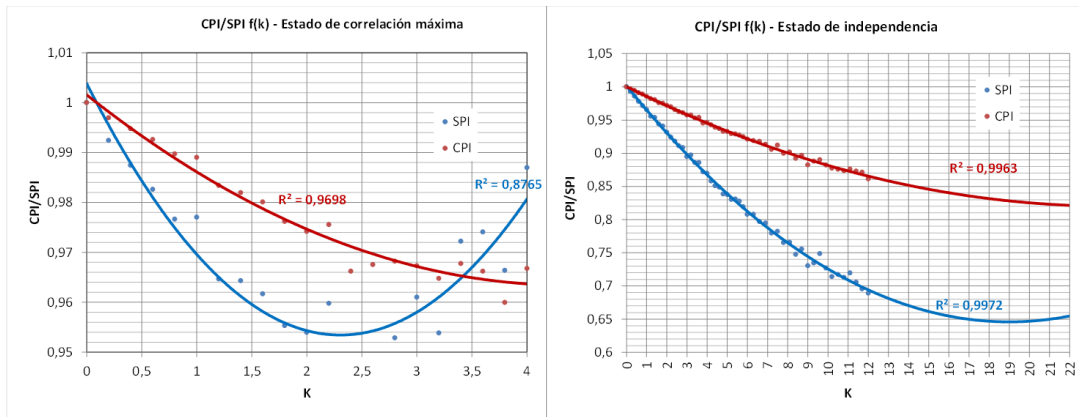


Figura 6 - 6 – Simulaciones para determinar constante k

En los gráficos se observa que los resultados se pueden relacionar con una regresión polinómica de segundo grado. Por lo tanto, el SPI como el CPI pasan por un mínimo. El primero en llegar a este mínimo es el SPI para ambos estados. Esto es debido a que la simulación comienza a tomar valores negativos para las duraciones. Por lo cual un estudio posterior a ese mínimo de las variables carece de sentido. Para cada estado se puede determinar un $k_{\text{mínSPI}}$.

A continuación, se realiza el estudio de las variables (SPI/CPI) por estados, figura 6-7.

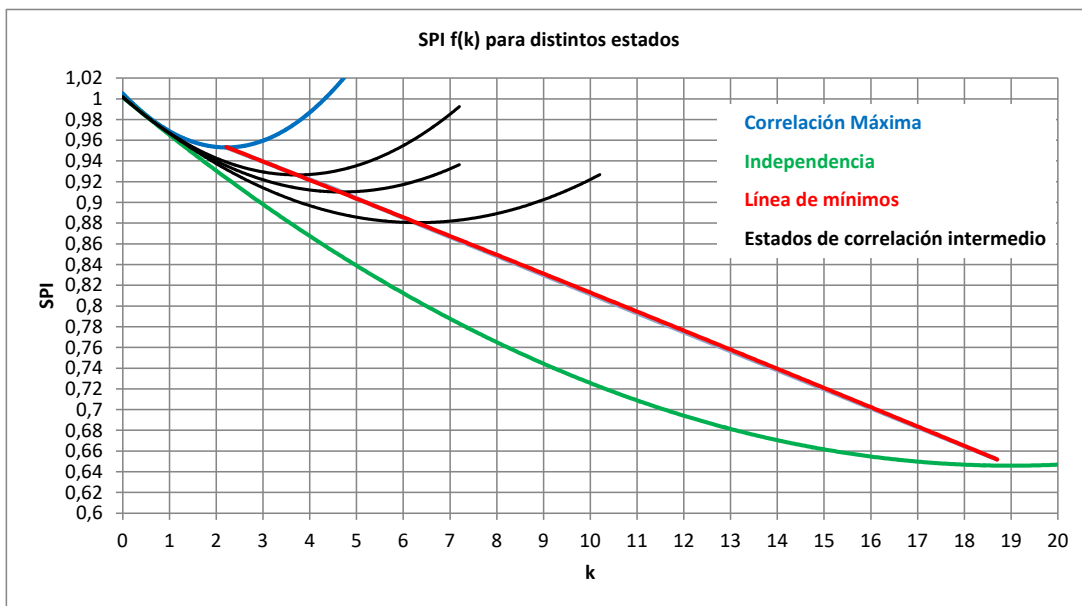
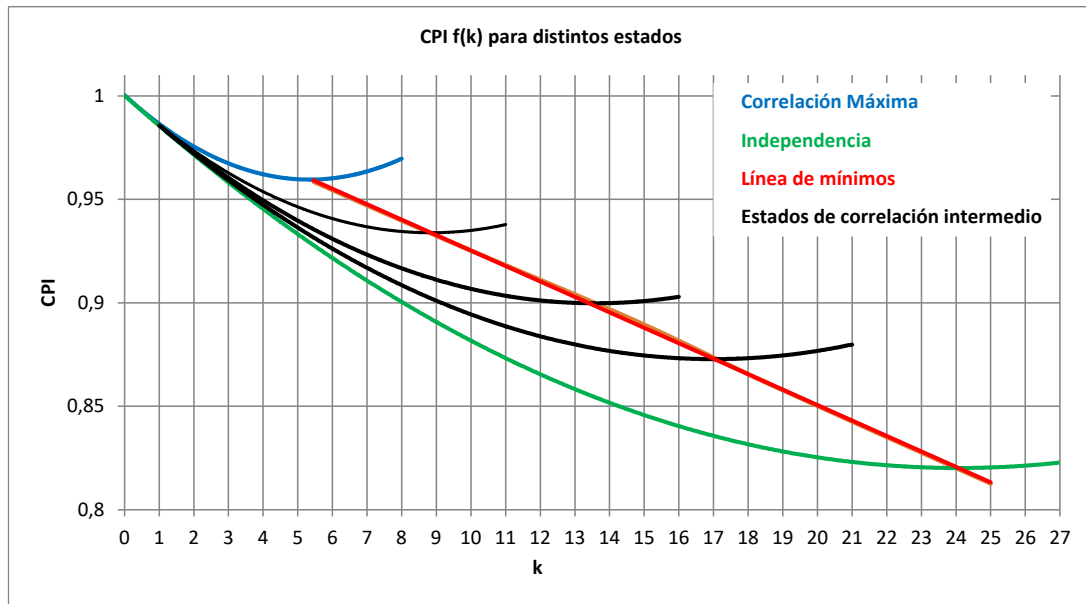
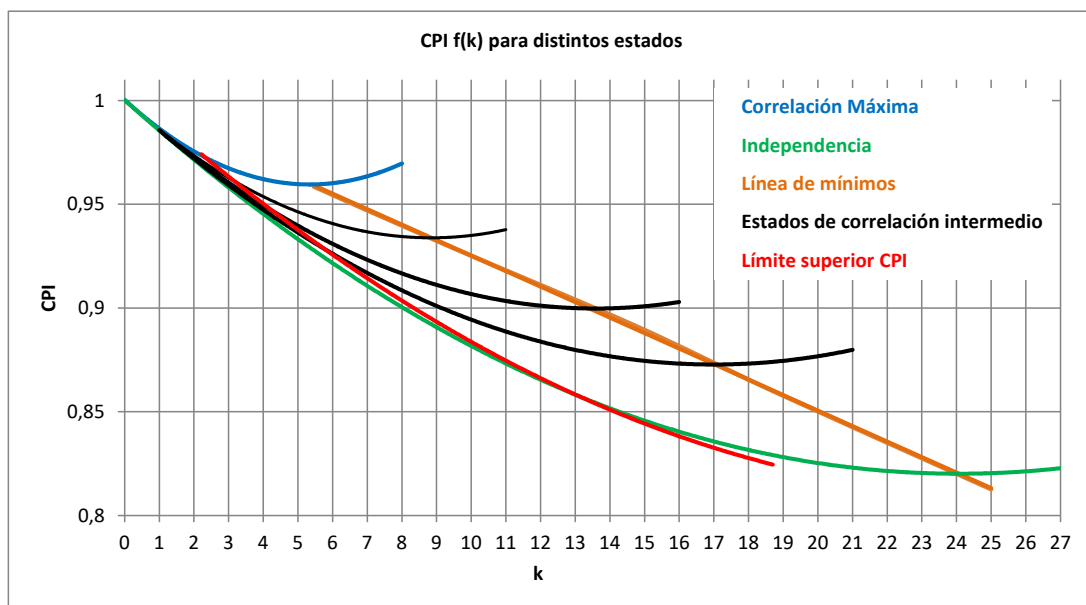


Figura 6 - 7 – SPI f(k) para diferentes estados

En estas gráficas se determina un límite superior dado por la línea de mínimos y un límite inferior dado por la línea del estado de independencia. Lo que circunscribe a esa área la posibilidad de encontrar el valor de k correspondiente a los SPI y CPI objetivos.

Figura 6 - 8 – CPI $f(k)$ para distintos estados

Pero recordando lo determinado anteriormente que el SPI llegaba primero a su mínimo, el límite superior del CPI estará dado por una nueva línea conformada por los mínimos del SPI en las regresiones del CPI. Ver figura 6-9.

Figura 6 - 9 – Límite superior de CPI $f(k)$

Esto muestra un nuevo límite superior que acota aún más las posibilidades para obtener el correspondiente valor k . El próximo paso es determinar los límites de los valores k para poder realizar las simulaciones. Para ello se trazarán las líneas objetivos en los gráficos SPI y CPI $f(k)$ y se realizará un zoom sobre la zona de interés, ver figura 6-10.

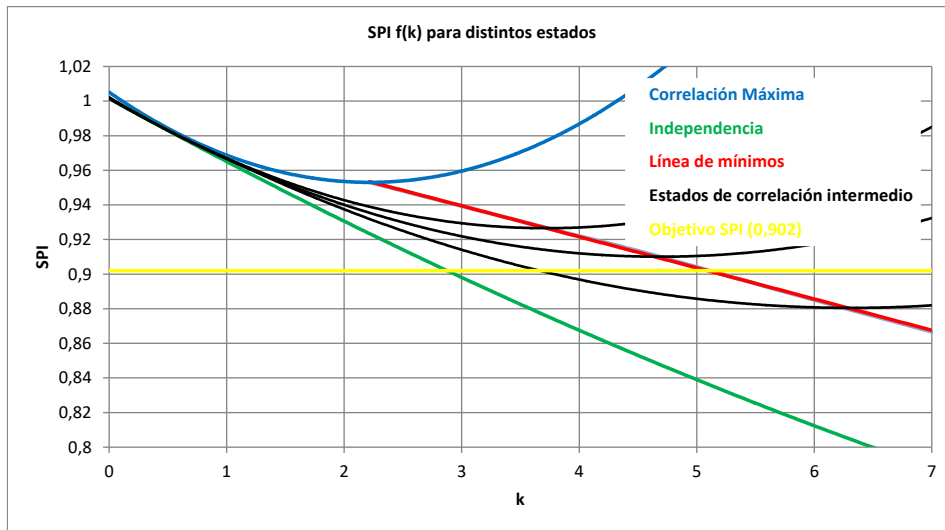


Figura 6 - 10 – Objetivo SPI

En la gráfica se observa que el valor de k para el SPI objetivo puede variar entre los límites superior e inferior, entre cinco y tres, para distintos estados de correlación. Este intervalo para SPI se debe verificar con el objetivo del CPI, ver figura 6-11.

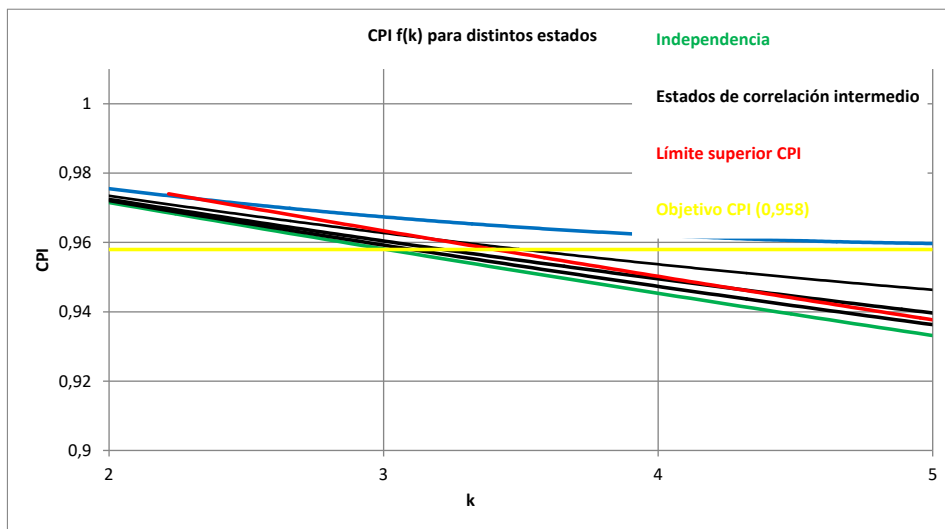


Figura 6 - 11 – Intervalo de k

En la gráfica se observa que los valores de k para que se cumplan ambos objetivos a la vez deben variar aproximadamente entre 3 y 3,4, para distintos estados de correlación. El 3 coincide con el estado de independencia y los otros valores con estados intermedios de correlación. De los cuales para este proyecto no hay datos. En la tabla 6-4 se presenta un resumen.

	VALORES k	
	MÍNS	MÁXS
CPI	3,0	3,4
SPI	2,9	5,1

Tabla 6 - 4 – Intervalos de k

Para predecir las variables del proyecto se utilizarán valores extremos de k correspondientes a los estados extremos considerados. Por lo cual para correlación máxima se utilizará el valor de $k=2,22$, el cual da el mínimo para este estado. Mientras que para estado de independencia se utilizará 3,4; que es el máximo valor del intervalo. A continuación, se observa una figura donde aparece la línea de interpolación que une estos dos puntos con la cual se puede establecer un valor k que permite predecir el resultado de los valores de los objetivos, para una correlación determinada. En la figura 6-12 se observa la determinación de este valor para el caso del SPI, lo mismo se puede realizar con el CPI, pero la gráfica no es clara por lo cual no se consigna. Resolviendo analíticamente las intersecciones de las líneas, se determina que el valor k para una determinada correlación, el valor de predicción es $k = 3,12$. Siempre para valores medios.

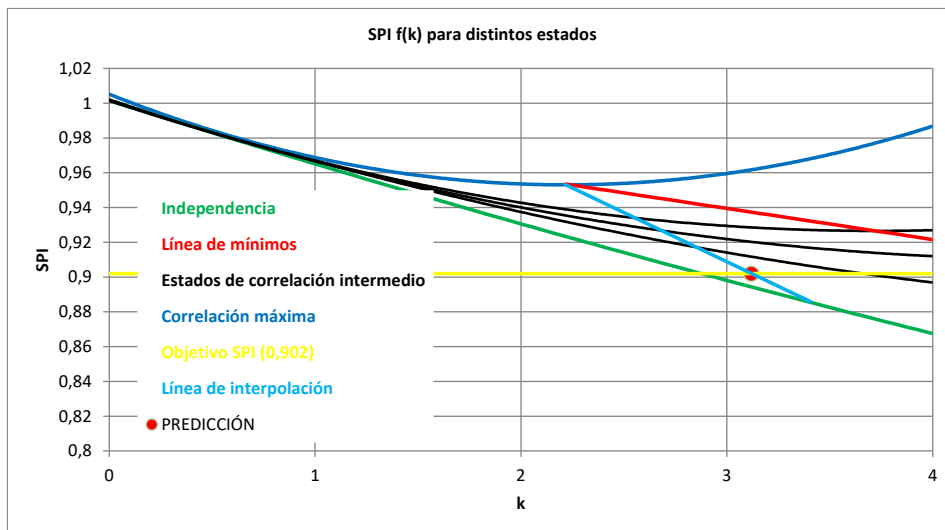


Figura 6 - 12 – Valor de predicción

Con este valor posteriormente se podrá interpolar los resultados que se obtengan para los estados de independencia y correlación máxima. Estas constantes son útiles para el modelo desarrollado de la RCA, dado que se obtienen de valores medios del cuestionario.

6.2.2 Predicción de rendimiento del proyecto

Con los valores de k determinados anteriormente se ejecutó la simulación. Para ello se determinó el número de iteraciones para una cierta variación de los resultados. Se utilizará la fórmula vista en el capítulo 3, donde: $n = (k/\Delta p)^2 p (1-p)$

- si se considera $k = 1,96$; $p = 0,005$; $\Delta p = 0,002$, por lo cual $n = 4.778$ iteraciones, (se adopta 5.000).

6.2.2.1 Resultados Caso 1 genérico

A continuación, en la tabla 6-4 se comparan los resultados obtenidos a los estados I y CM. Se consignan los valores medios y desvíos estándares.

	Duración		Costo		SPI		CPI		NS _{SNP}	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Independencia	63,8	6,1	221.154	9.750	0,89	0,087	0,95	0,042	0,61	0,023
Correlación máxima	60,7	11,2	217.360	17.228	0,96	0,187	0,97	0,077	0,61	0,093

Tabla 6 - 5 – Valores obtenidos de simulación

Se puede observar que el valor medio del NS_{PSN} es de 0,61; pero hay una variación del desvío estándar. Esto debido a los supuestos de I y CM. En las variables estudiadas se observa que la desviación estándar siempre es más grande proporcionalmente en el estado de CM. Que los valores de las medias sean mayores en el estado I se debe a que el coeficiente k es mayor en ese estado.

En este punto se observa qué sucede con los análisis de colas del histograma del NS_{PSN}, SPI y CPI. En la figura 6-13 para el estado I, se observa que el NS presenta simetría, mientras que el SPI y CPI presentan cola hacia la derecha. Además, el SPI presenta variaciones en los valores medios del histograma.

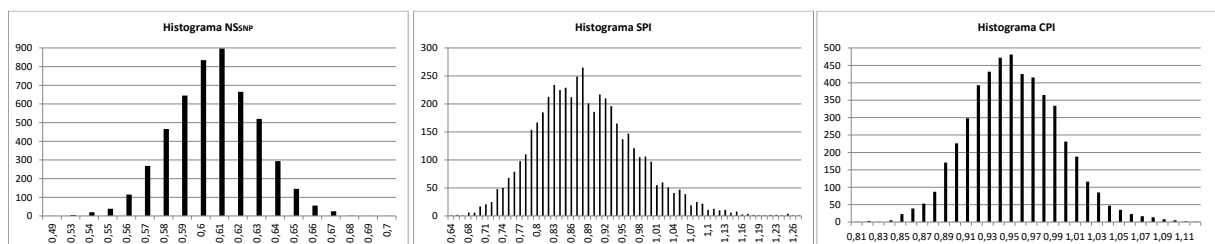


Figura 6 - 13 – Histogramas – Estado I (ver pág. 339 Anexo VII)

En la figura 6-14 se visualiza los histogramas del estado CM. Los mismos presentan cola en los tres histogramas. En comparación con el estado I se observa la mayor dispersión mencionada con anterioridad. Además, se puede concluir que los histogramas no conforman una distribución normal, lo cual se lograría si se aumentara el número de iteraciones.

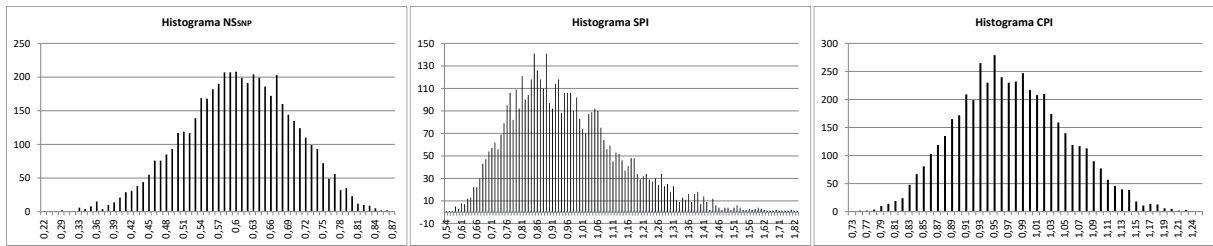


Figura 6 - 14 – Histogramas – Estado CM (ver pág. 339 Anexo VII)

Se realiza un análisis por medio de nubes de puntos entre las variables que se desean relacionar. En la figura 6-15 se encuentra el estado I en el cual se observa una débil correlación lineal entre las distintas variables. Además, se puede inferir que para un mismo proyecto puede haber diferentes NS y sus SPI y CPI. Por lo cual no hay una certeza de los resultados que se pueden obtener.

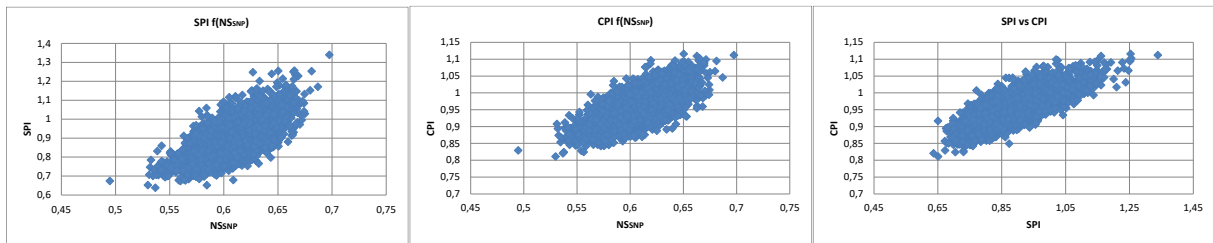


Figura 6 - 15 – Estado I - nube de puntos (ver pág. 340 Anexo VII)

En el estado CM (figura 6-16) se observa nubes de puntos más estrechas en su ancho, pero mucho más alargadas en los rangos de las variables. Además, se puede establecer una correlación lineal polinómica con un alto valor del coeficiente de Pearson.

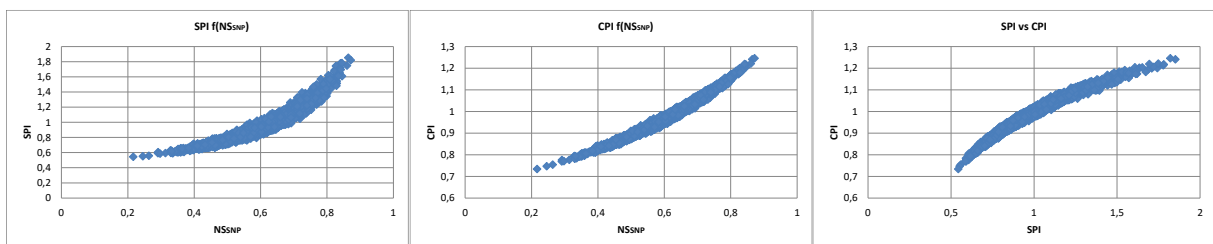


Figura 6 - 16 – Estado CM – nube de puntos (ver pág. 340 Anexo VII)

En ambos estados los rendimientos del proyecto aumentan con el NS_{PSN} , coincidente con el análisis de ecuaciones realizado en el apartado 6.1.5.1. Además, para pequeños valores de NS las variables de SPI y CPI tienden hacia un mínimo. En el caso de las gráficas del SPI vs CPI se puede observar que, sobre todo en estado CM, hay una tendencia a un CPI máximo.

A continuación (figura 6-17) se representa la superposición de ambos estados (negro estado CM y rojo estado I). En las figuras que relacionan al NS, el cual es el mismo para los dos estados

debido a que pertenecen a la misma PSN, se observa que este parámetro de medida central coincide. Es evidente la diferencia de dispersiones. Además, el SPI y CPI en función del NS tienen tendencias diferentes en ambos estados.

Si se analiza la figura de SPI vs CPI se visualiza como el estado I es un sub-estado del estado CM.

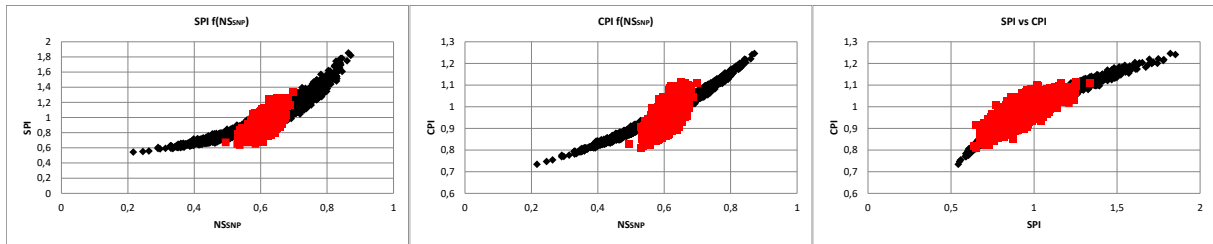


Figura 6 - 17 – Comparación de estado I y CM (ver pág. 341 Anexo VII)

A continuación, se analizará el comportamiento correlacional de las diferentes variables del proyecto. Con lo cual se puede caracterizar los estados. Este estudio se hará por medio del software R.

6.2.2.2 Correlaciones Estado I

Primero se analiza la correlación (figura 6-18) entre los distintos NS de los recursos con el NS_{PSN} , SPI y CPI.

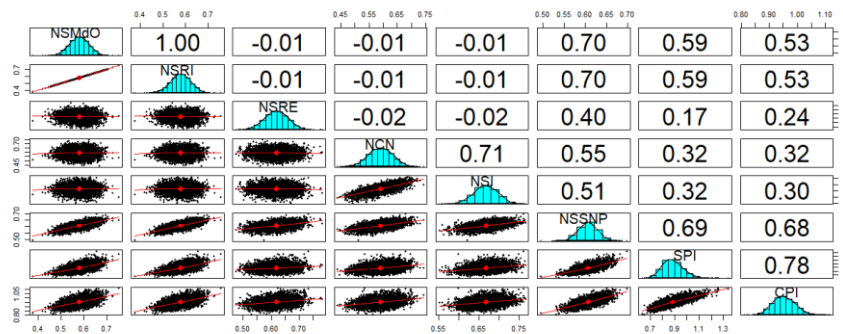


Figura 6 - 18 – Correlaciones de recursos del Estado I

Se observa la correlación entre la MdO y los recursos internos, porque se modelaron con la misma distribución de probabilidades. Después se observa una correlación entre NCN y NSI, esto debido a que en que parte de la SC de recursos internacionales está formada por los parámetros nacionales. En el resto de los recursos se observa correlaciones cercanas a cero entre otros recursos. Después se destaca que el recurso que más importancia tiene sobre las

variables son la Mdo y los RIs.

Si se analiza las correlaciones (figura 6-19) de las duraciones de las distintas actividades, según lo simulado las mismas son independientes entre sí. Además, se puede observar los distintos pesos de incidencia de la actividad en el rendimiento del proyecto. Lo mismo se puede analizar en la figura 6-20 con respecto a los costos.

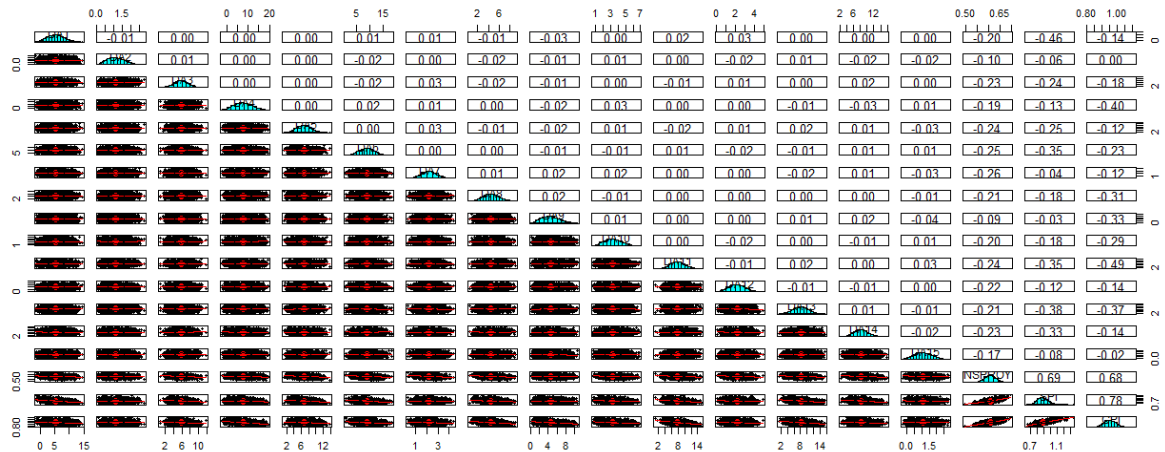


Figura 6 - 19 – Correlaciones de duraciones del Estado I (ver pág. 342 Anexo VII)

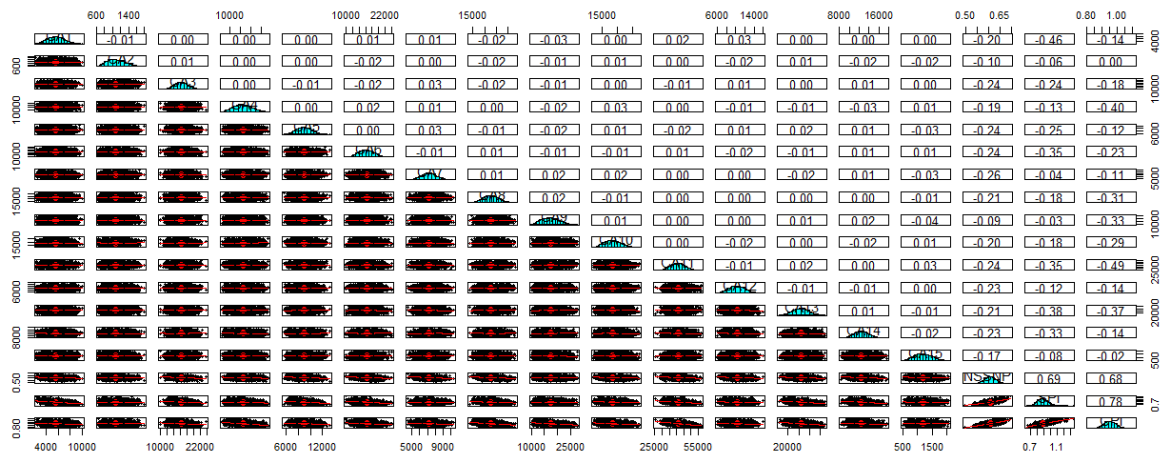


Figura 6 - 20 – Correlaciones de Costos del Estado I (ver pág. 343 Anexo VII)

6.2.2.3 Correlaciones estado CM

Primero se analiza la correlación (figura 6-21) entre los distintos NS de los recursos con el NS_{PSN} , SPI y CPI.

Con respecto a la correlación entre los NS de los distintos recursos, se observan resultados semejantes al estado I y también se determina que la Mdo y NSRI son los más importantes en

la conformación del rendimiento del proyecto.

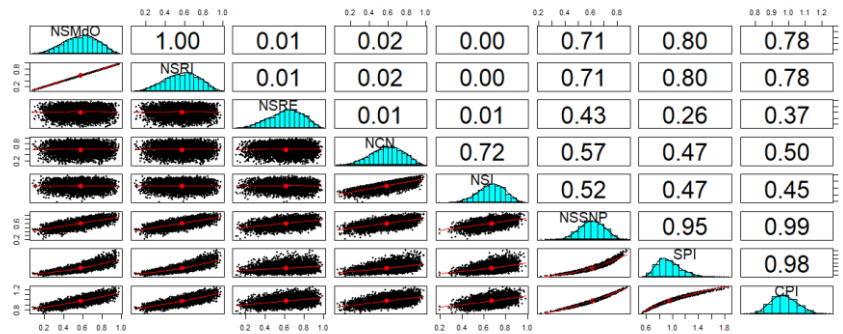


Figura 6 - 21 – Correlación de recursos de Estado CM

Cuando se analiza las correlaciones entre actividades tanto en duraciones como costo, se observa que en este estado hay correlaciones definidas entre las actividades. Lo cual está relacionado a la realización del modelo y la asignación de recursos del proyecto. Los valores de correlación entre actividad-actividad son semejantes en duraciones y costos (figura 6-22/23).

Además, se puede observar cuál es la incidencia de cada actividad en la conformación de las variables de rendimiento del proyecto.

Con los datos obtenidos de estas tablas se puede relacionar la criticidad de los recursos y las actividades con el rendimiento del proyecto.

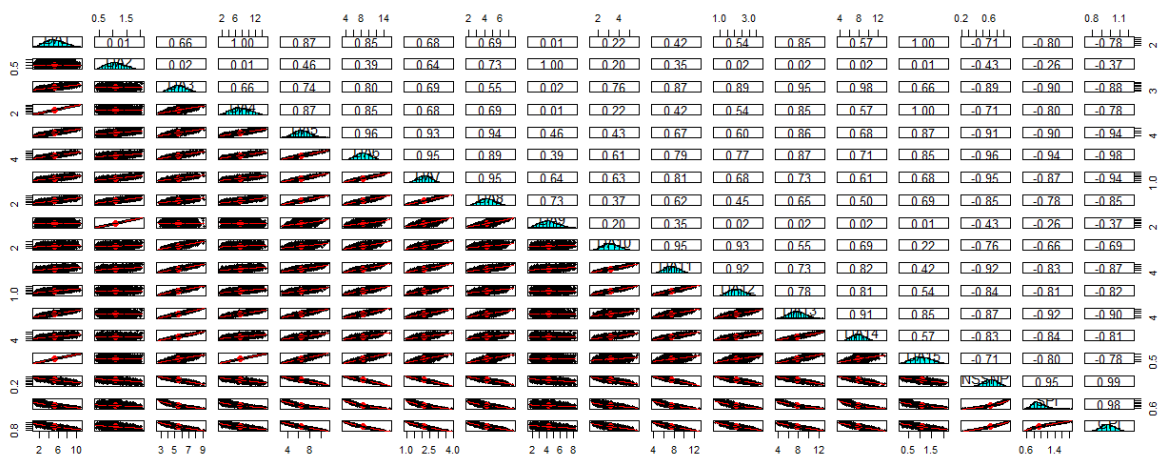


Figura 6 - 22 – Correlaciones de duraciones del Estado CM (ver pág. 344 Anexo VII)

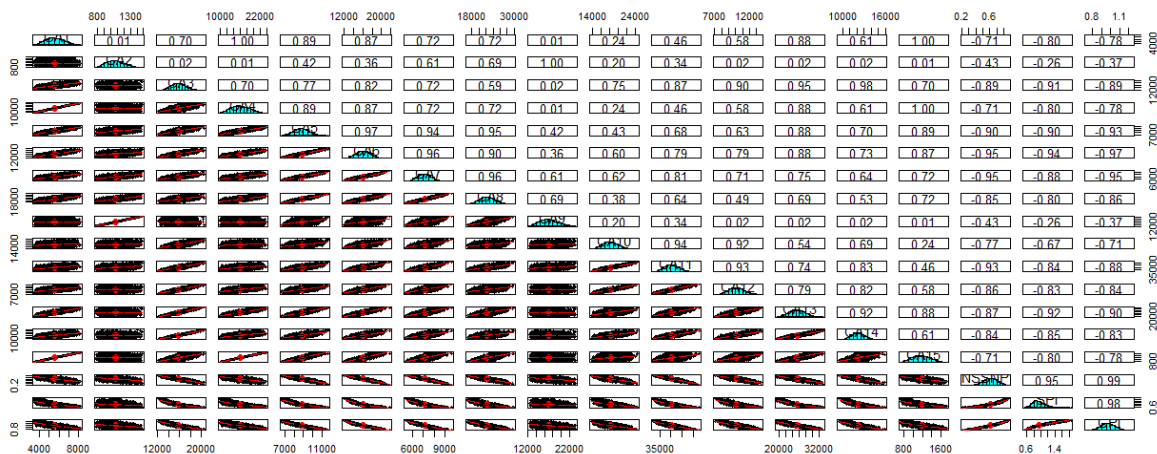


Figura 6 - 23 – Correlaciones de costos del Estado CM (ver pág. 345 Anexo VII)

6.2.2.4 Criticidad de recursos y actividades

En la figura 6-24 se muestra la criticidad según SPI, CPI y NS_{PSN}, según la correlación, para el estado I.

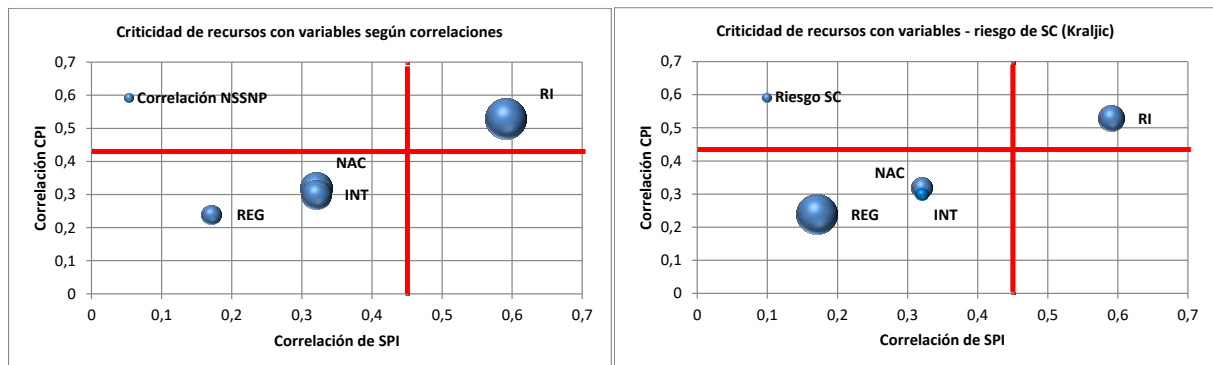


Figura 6 - 24 – Criticidad de Recursos Estado I

Del análisis de la figura de la izquierda se evidencia que el recurso más crítico tanto en tiempo, costo y NS de la red de abastecimiento del proyecto, es el Recurso Interno (RI), seguidos por los de origen Nacional e Internacional. Mientras que del análisis de la figura de la derecha, que se relaciona con la matriz de Kraljic donde el nivel de riesgo de la SC está determinado según el apartado 6.1.3 (esferas), el recurso más riesgoso según su SC es el de origen regional; en cambio los recursos internos son los menos riesgosos para su provisión.

El análisis con respecto a las actividades muestra la influencia de las mismas sobre el rendimiento del proyecto y el NS del proyecto (figura 6-25). Este gráfico mejora la identificación de criticidad con respecto a la vista en el apartado 6.1.3.

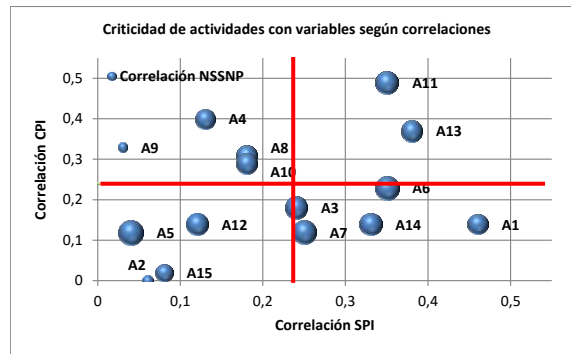


Figura 6 - 25 – Críticidad de actividades del Estado I

A continuación, se realiza el mismo análisis para el estado de CM. En la figura 6-26 se observa la importancia relativa de los recursos internos sobre los otros recursos y su menor riesgo en el SC. En cambio, los recursos regionales tienen un alto impacto desde el punto de vista del riesgo del SC, pero su correlación en costo y tiempo es menor.

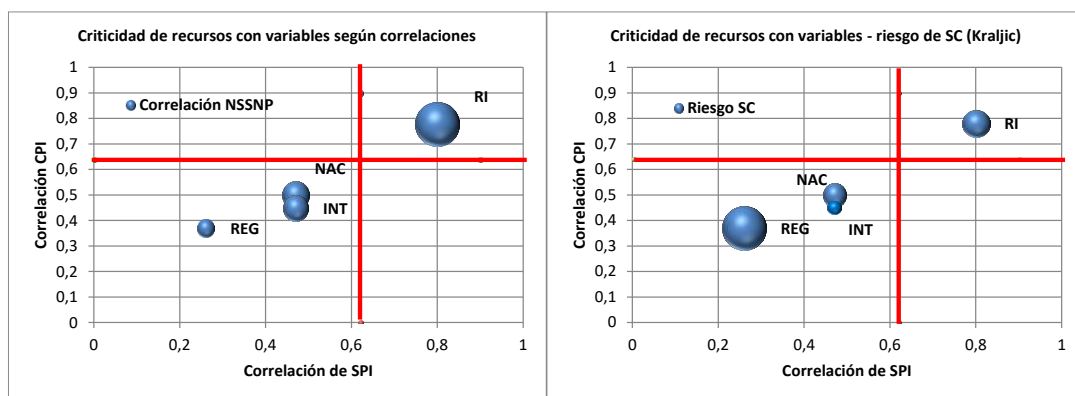


Figura 6 - 26 – Críticidad de recursos Estado CM

Posteriormente en la figura 6-27 se observa la criticidad de las actividades. Donde las actividades 2 y 9 tienen una influencia menor que el resto y las otras se encuentran en una nube de puntos muy cercanos tanto en SPI, CPI como NS.

Con respecto a la criticidad de los recursos se puede observar que para ambos estados

es muy similar y esto se debe a que si bien se varía el impacto la PSN es la misma para ambos. Sólo se produce una variación de pesos relativos.

En el caso de la criticidad de las variables de las actividades se analizará en comparación entre

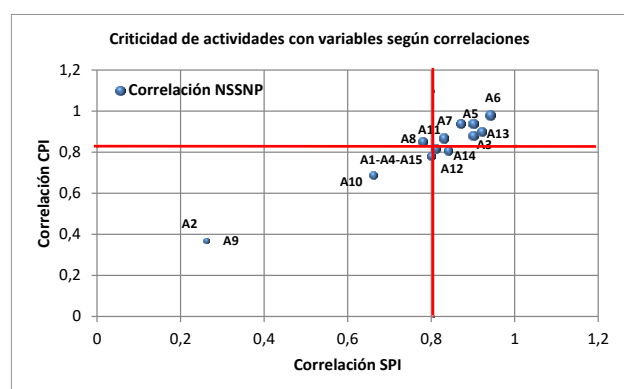


Figura 6 - 27 – Críticidad de actividades del Estado CM

los dos estados. Por lo cual, se realiza un análisis de importancias relativas, con coincidencia de centros de gravedad y cambios de orígenes de coordenadas. En la figura 6-28 se observa que el estado CM es más concentrado. Además, es como que se produjera un desplazamiento de las actividades desde el estado CM (concentración de actividades que tienen proporción de recursos similares y sus proveedores tienen los mismos comportamientos) a la dispersión del estado I. Lo cual demuestra la importancia de considerar el grado de correlación cuando se realizan simulaciones.

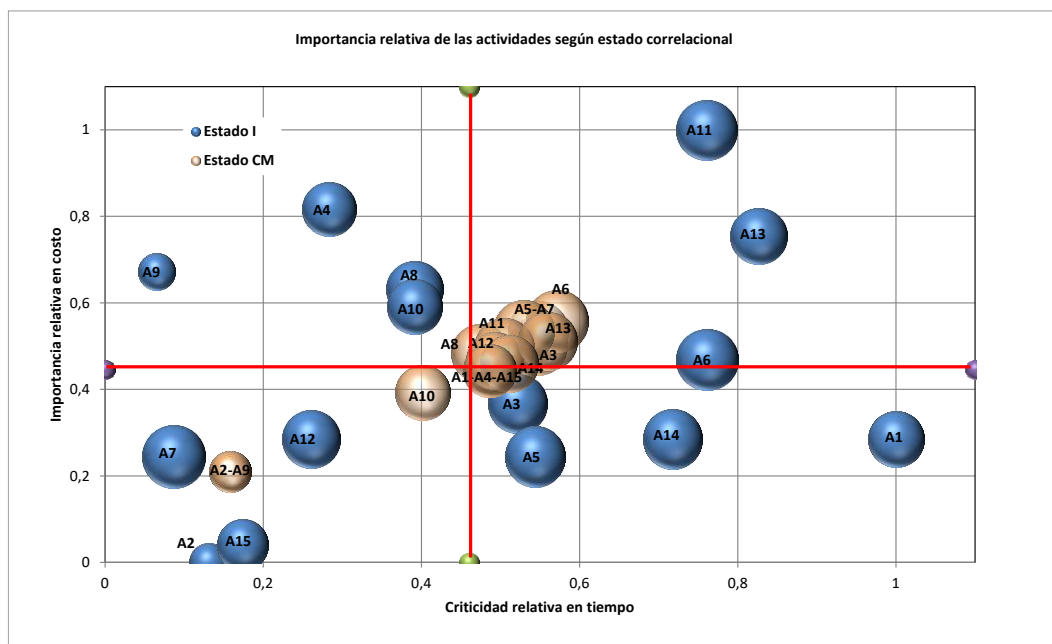


Figura 6 - 28 – Críticidad de Actividades, comparativa Estado I-CM

6.2.2.5 Límites de predicción y probabilidades de ocurrencia

En esta sección se hace una simplificación de las gráficas de nubes de punto. Se realiza un procesamiento de datos tal que para distintos NS se obtiene una media y un desvío estándar. Suponiendo normalidad, se grafica la línea media y una línea de límite inferior. Este límite inferior se conforma con una probabilidad de ocurrencia tal que el 95 % de los casos representan un valor mayor a la variable analizada, en función del NS. Además, se observa la probabilidad de ocurrencia global.

En la figura 6-29 se observa el estado I, por ejemplo, para un NS=0,61, se podría obtener un SPI=0,78 con una probabilidad de ocurrencia del 95 % para ese NS y un 87 % de probabilidad global de que se produzcan valores mayores. Si quisiéramos un SPI=1, se necesitaría un NS=0,65 con una probabilidad de ocurrencia del 50 % y sólo se produciría en el 15 % de los

casos.

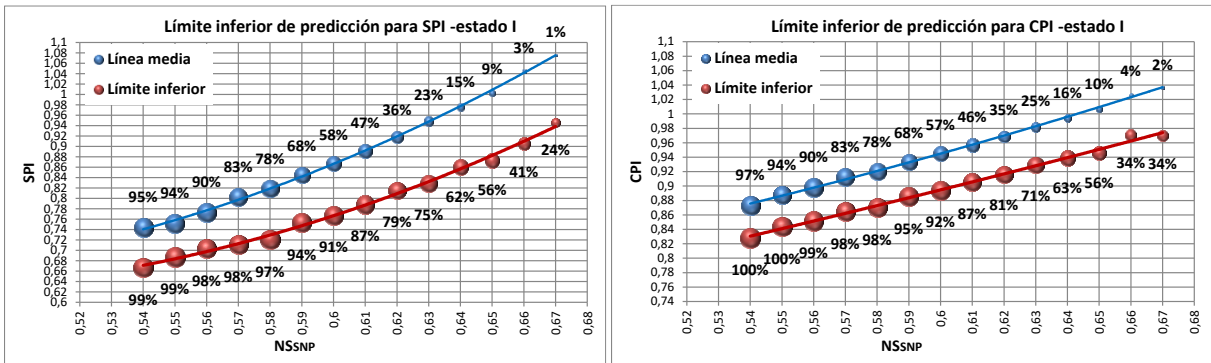


Figura 6 - 29- Límites de predicción y probabilidad de ocurrencia en Estado I

El mismo análisis se puede realizar en las figuras 6-30/31 del estado CM.

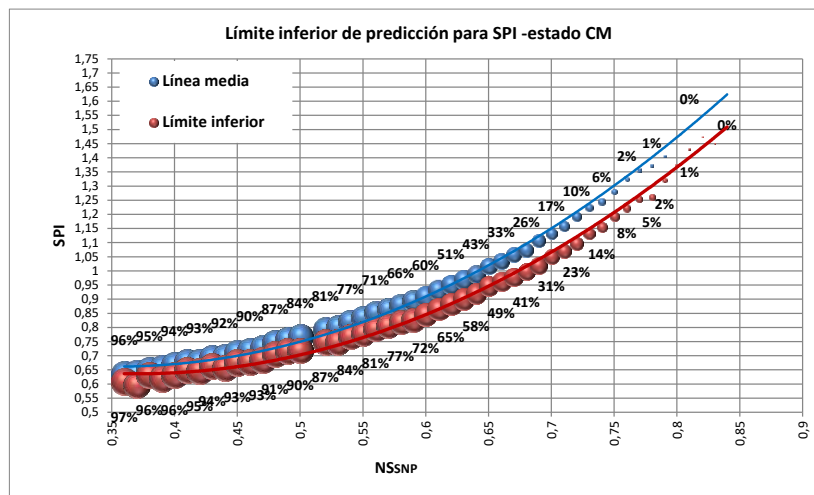


Figura 6 - 30 – Límite de predicción SPI del Estado CM

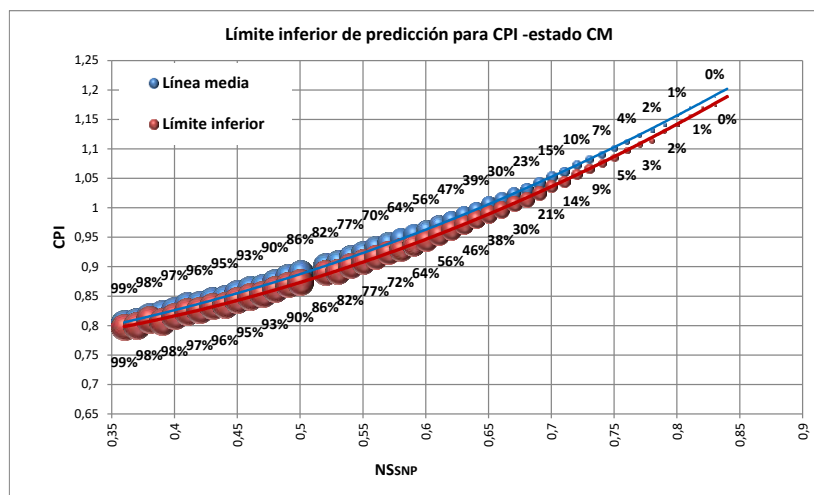


Figura 6 - 31 – Límite de predicción CPI del Estado CM

En la figura 6-32 se observa la superposición de las curvas de límite inferior para los dos

estados y el SPI. En la misma se puede ver que entre ambos estados y en el rango de NS entre 0,55 y 0,67; existe una diferencia de alrededor de 7 puntos del SPI. Esto implica que dentro de esos rangos se encuentran un conjunto de correlaciones entre los recursos de las actividades. Pero estas variaciones están asociadas a las probabilidades de ocurrencia de los diferentes eventos.

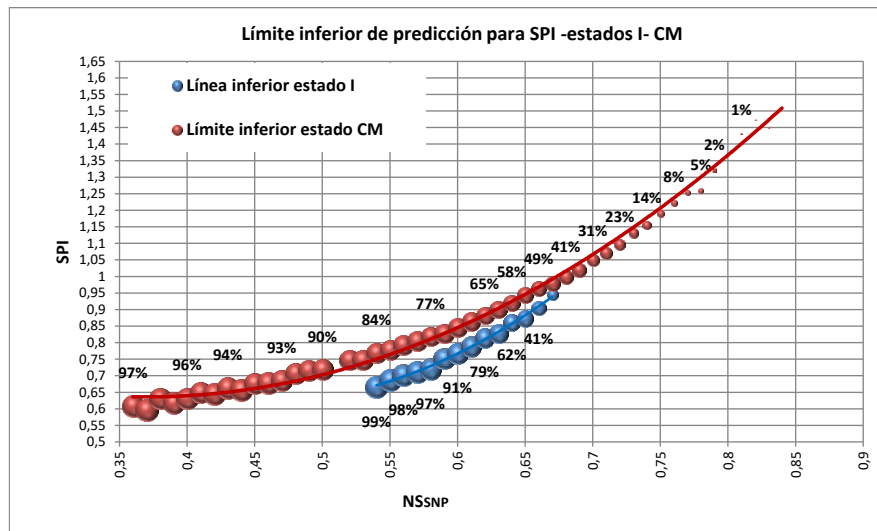


Figura 6 - 32 – Límites de predicción SPI, comparación Estado I-CM

A continuación, se expresarán los resultados a través de gráficos más afines a los directores de proyectos.

6.2.2.6 Predicción de valores de la Curva S

La curva de costos acumulados (Curva S) es una de las herramientas más utilizada por los directores de proyecto. Para desarrollar la curva S se realizaron simulaciones por intervalos de tiempo. En este caso se ejecutaron simulaciones de cinco mil iteraciones para cada intervalo. Se obtienen la media y la desviación estándar de NS_{PSN} , SPI y CPI. Para un análisis simplificado, se supone que la distribución de cada variable se ajusta a una distribución normal, lo cual produce resultados con diferencias aceptables con respecto a los histogramas de simulación.

En la figura 6-33 se representa esta curva para valores medios. Los círculos sobre la curva indican los valores que se deben comparar porque corresponden a puntos de igual porcentaje de avance del trabajo. Se observa que el estado I es el más desfavorable. Los valores predictivos medios ofrecen valores mayores tanto en tiempo como en costo respecto de lo planificado.

Pero estos son valores medios, el objetivo de la predicción es encontrar un rango de valores, con cierta probabilidad de ocurrencia. Por lo cual se adoptará una probabilidad de ocurrencia del 95 %.

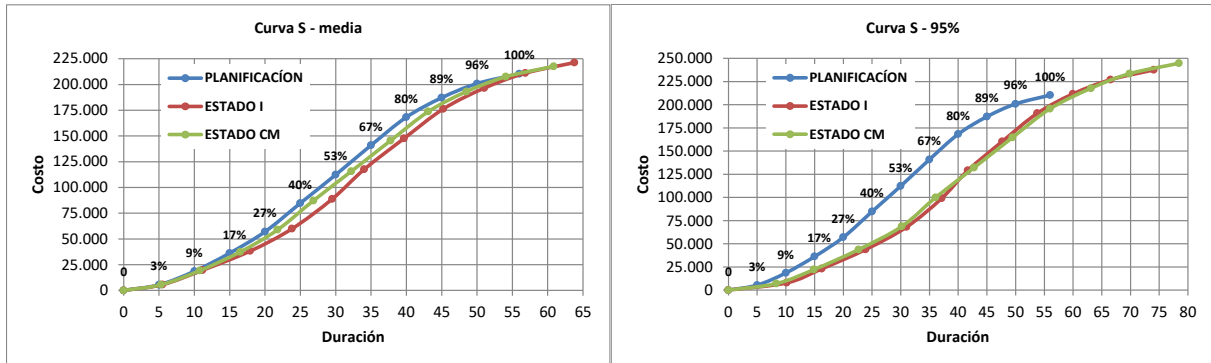


Figura 6 - 33 – Comparativas de Curva S

En esta gráfica se observa que las curvas de 95 % para ambos estados van cambiando de posición en el desarrollo de la curva S. En este caso, a diferencia de los valores medios, se observa que los valores finales del estado CM son mayores al estado I.

Para una probabilidad de ocurrencia del 95 % se podría estimar un intervalo para los distintos puntos de control sobre la curva S. En el caso de los valores finales de las variables del proyecto se determina los siguientes intervalos (estado I; estado CM):

- Costo (237.585;244.674)
- Duración (74;79)

Se debe recordar que estos intervalos están asociados al nivel de correlación que exista entre recursos y actividades. Por lo cual, al momento de la planificación, habría que considerar en promedio una duración superior en un 27 % y un costo superior en 13 %, con respecto a los valores planificados, para esta predicción. Todo este análisis asociado a un NS_{PSN} promedio de 0,61 y un desvío estándar de 0,023 para el estado I y de 0,089 para el estado CM.

6.2.2.7 Predicción para SPI y CPI para distintos valores de avances

En este apartado se analiza cómo es la variación del SPI y CPI con los diferentes estados de avances (figura 6-34).

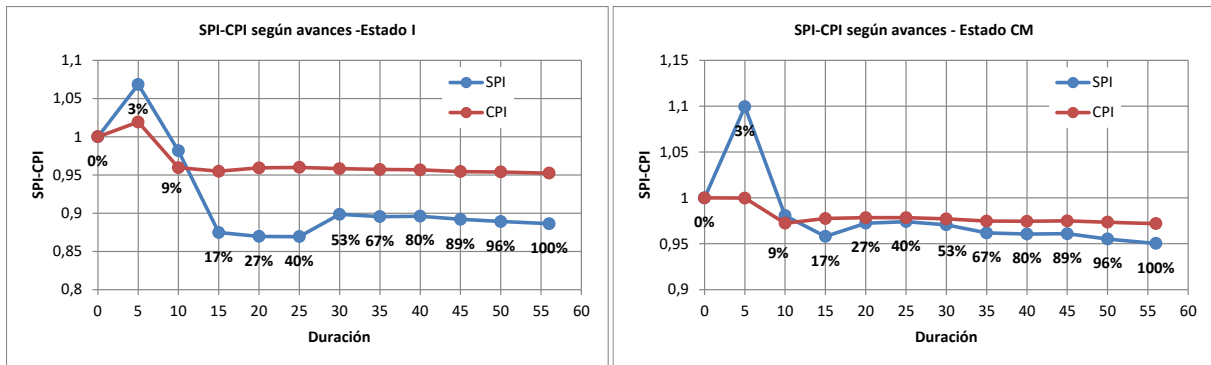


Figura 6 - 34 – Predicciones de SPI y CPI para distintos estados de avances

Para el caso de estado I debido a las diferentes dispersiones en las predicciones del SPI y CPI, se observa que el CPI muestra una tendencia definida a partir del 9 % de avance del proyecto. Mientras que el SPI, recién hay una tendencia después del 53 % de avance. En el estado CM la variabilidad disminuye a partir del 27 % de avance.

Por lo cual si no se tomara ninguna decisión con los puntos de controles el proyecto daría como resultados los valores antes simulados. Pero los controles y simulaciones intermedias permiten la toma de decisiones de acciones correctivas y preventivas.

A continuación, se simularán casos en que se mejora alguno de los parámetros del modelo para observar cuál podría ser el comportamiento del proyecto.

6.2.2.8 Predicción para el caso de mejora del NS de un recurso

Según lo observado anteriormente, los RIs son los que mayor influencia tienen en el resultado (SPI-CPI-NS) y los que menos riesgos tienen en su provisión. Además, el NS de los RIs es sobre lo que se puede actuar más rápidamente en un proyecto, ya que dependen de la gestión del contratista principal.

Una buena selección y gestión de RRHH, más una buena gestión de los equipamientos, y de la gestión en el sitio de producción ayudarían a una mejora del NSPRI. Esta mejora estará asociada a una disminución de la variabilidad del NS del recurso (se simula una disminución de la dispersión del NS). Entonces, se procederá a simular el proyecto para distintos niveles de avances, y para los mismos valores de impacto k. Debido a que se presenta una tendencia a partir del 53 % de avance se simulará la mejora a partir de este punto.

Para estas simulaciones el NS_{PSN} es de 0,67 con un desvío estándar de 0,019 estado I y 0,069 estado CM. En la figura 6-35 se compara los valores de SPI y CPI, en la gráfica de estado I se

observa claramente la mejora de los valores de las variables.

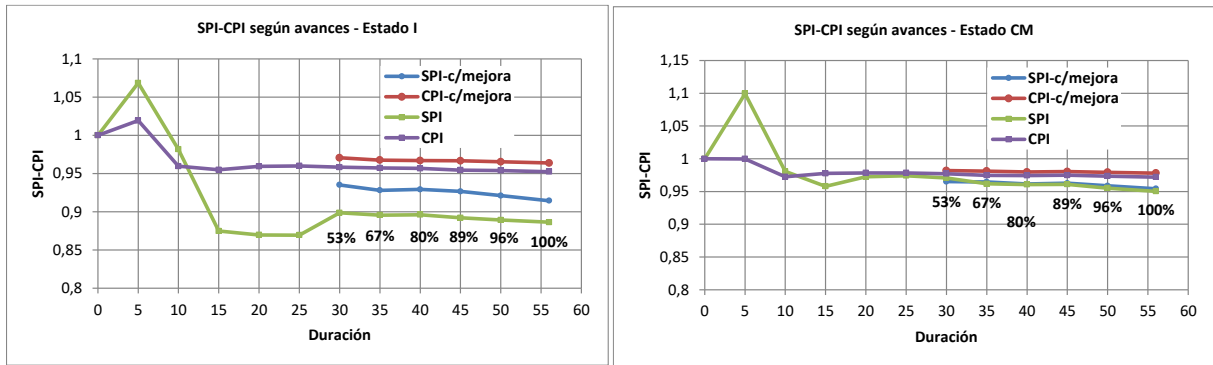


Figura 6 - 35 – Predicción de SPI-CPI con mejoras

En la figura 6-36 de curvas de costos acumulados, se visualiza que las líneas medias y las líneas de 95 % están más cerca que las observadas en el caso anterior sin modificación de NS. Posteriormente se grafican ambos estados por separados, y en la figura 6-37 se muestra que los valores de duración y costos mejoran.

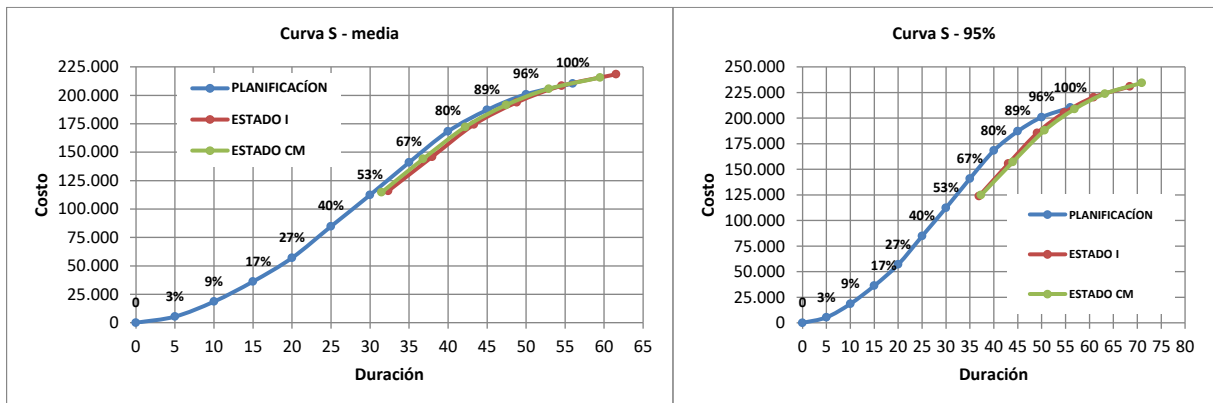


Figura 6 - 36 – Predicciones con mejora en Curva S

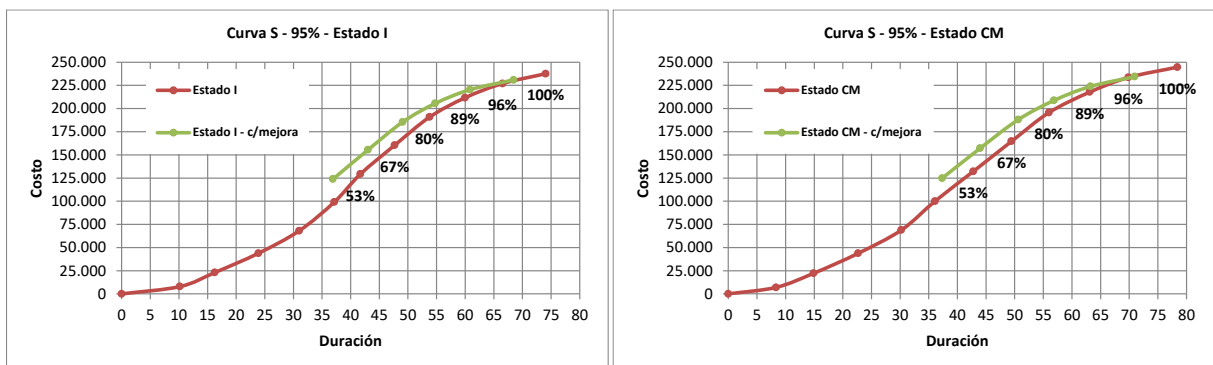


Figura 6 - 37 – Predicciones con mejora en Curva S, para cada Estado

El estado real del proyecto estará entre los límites de los estados I y CM dependiendo de la correlación de recursos y actividades.

CAPÍTULO 6

ESTUDIO EXPLICATIVO

PARTE II – COMPROBACIONES

CAPÍTULO 6 - ESTUDIO EXPLICATIVO – Parte II – COMPROBACIONES

6.3 Analítica del segundo momento

Después del análisis por el método Monte Carlo, en este apartado se compara los resultados por medio del método del Segundo Momento (presentado en el capítulo 3). Para ello se utilizan los valores de correlaciones y desvíos estándar obtenidos en el apartado 6.2, para los estados I y CM. A continuación, se detallan los resultados.

En la tabla 6-6 se observan los valores obtenidos para la media y el desvío estándar de los distintos métodos y estados analizados para el caso de las duraciones. En lo que respecta a las

	DURACIÓN					
	Estado I			Estado CM		
	Monte Carlo	2do Momento	Diferencia	Monte Carlo	2do Momento	Diferencia
Media	64	63	0,9%	61	61	0,0%
Desv	6,1	6,3	-2,1%	11,2	11,6	-3,4%

Tabla 6 - 6 – Comparación de valores principales - Tiempo

medias sólo hay una diferencia de menos del 1 % en ambos estados. Pero con respecto a los desvíos estándar obtenidos por ambos métodos hay una diferencia del 2,1 y 3,4 % respectivamente.

En la figura 6-38 se grafica, para el caso duraciones, el histograma del Método Monte Carlo y las distribuciones normales equivalentes del método Monte Carlo y del método del 2do Momento. Se observa que las curvas de estas aproximaciones de distribución Normal, se ajustan bien al histograma. En ambas gráficas se visualizan las diferencias marcadas en la tabla anterior.

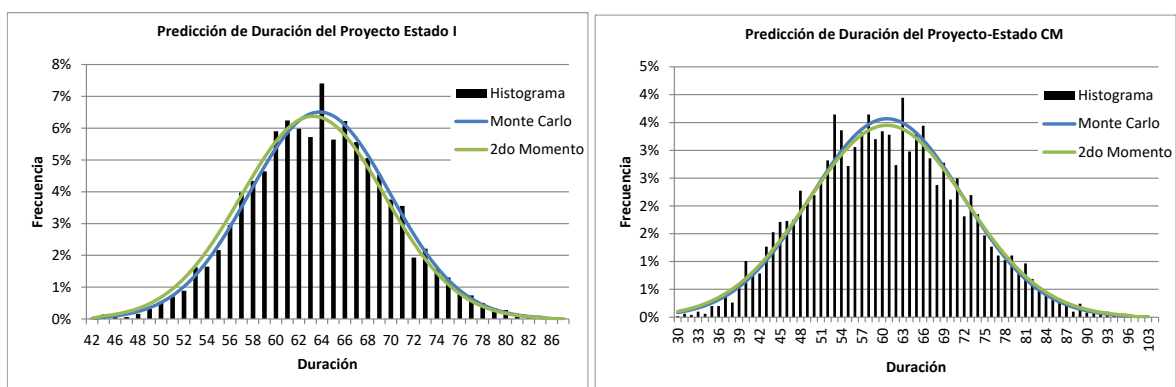


Figura 6 - 38 – Histograma y curvas de distribución aproximadas

En la tabla 6-7 se realiza la comparación de los resultados para costos, en la misma se puede ver que no hay diferencia en la estimación de las medias. En cambio, en los desvíos

	COSTO					
	Estado I			Estado CM		
	Monte Carlo	2do Momento	Diferencia	Monte Carlo	2do Momento	Diferencia
Media	221.154	221.154	0,0%	217.360	217.360	0,0%
Desv	9.750	9.721	0,3%	17.228	14.423	16,3%

Tabla 6 - 7 – Comparación de valores principales - Costo

hay una diferencia de sólo 0,3 % en el estado I, pero para el estado CM se observa que la diferencia es de 16,3 %. Por lo cual el método del segundo momento pierde algo de precisión de predicción en el caso de costo para estado CM. Esta situación relativa de resultados se puede ver en la figura 6-39

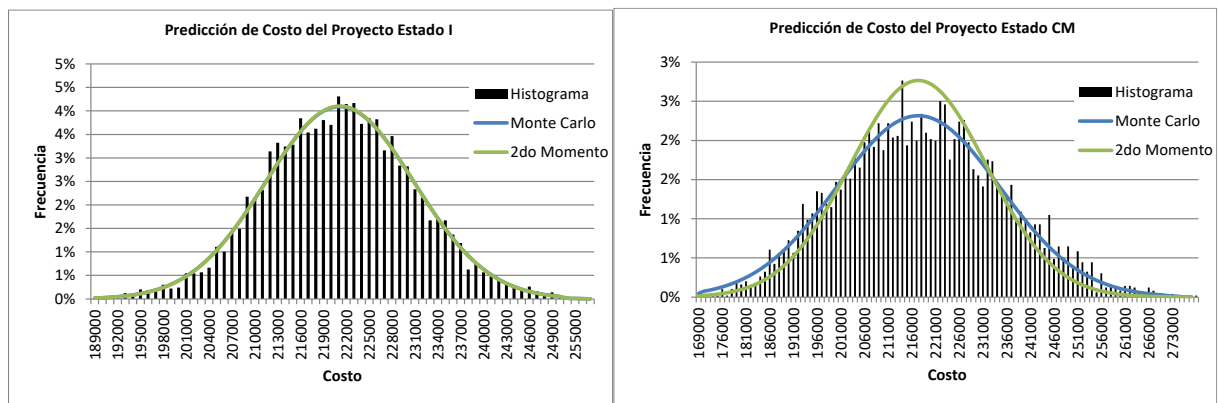


Figura 6 - 39 – Histograma y curvas de distribución aproximadas

De los valores obtenidos se puede concluir que ambos métodos son similares en resultados globales. Se debe aclarar que para desarrollar el Método del Segundo Momento fue necesario la utilización del método Monte Carlo para estimar las posibles correlaciones entre Actividades según los recursos. Además, el método Monte Carlo permite el estudio más detallado de las diferentes variables. El Método del Segundo Momento otorga sólo valores de tendencia central y desvío, y dependerá de que la distribución de las variables del proyecto no sea sesgada hacia a alguno de los lados para que su predicción sea certera. Lo cual otorga la relación y validez de ambos métodos para predicciones de valores globales del proyecto para las variables principales.

A continuación, se realiza una comparación entre los valores obtenidos para los estados I y CM según el método del segundo momento. El objetivo de esta comparación es observar cuáles son las diferencias entre ambos estados y entre qué intervalo se puede encontrar la predicción del proyecto estudiado.

En la tabla 6-8 se ven las diferencias que existe entre las medias, siendo del 4 % para el caso de duración y del 2 % para costo. Pero si bien las medias son semejantes los desvíos presentan grandes diferencias.

	DURACIÓN			COSTO		
	Estado I	Estado CM	Diferencia	Estado I	Estado CM	Diferencia
	2do Momento	2do Momento		2do Momento	2do Momento	
Media	63	61	4%	221.154	217.360	2%
Desv	6,3	11,6	-85%	9.721	14.423	-48%

Tabla 6 - 8 – Diferencias de estimación

Lo que pone en evidencia que la interdependencia de variables (correlaciones distintas de cero) juega un rol preponderante en los valores de predicción de un método. Si se hicieran predicciones de valores medios se tendría errores del 4 % y 2 %, según sea duración o costo. Mientras que, si se utilizaran valores fuera de la media, sus errores estarían en función de la diferencia de los desvíos, del 85 % para duración y 48 % para el costo. Coincidente con las conclusiones de Damnjanovic (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020) y los análisis realizados en la simulación por Monte Carlo. Los mismos resultados se pueden observar en la figura 6-40.

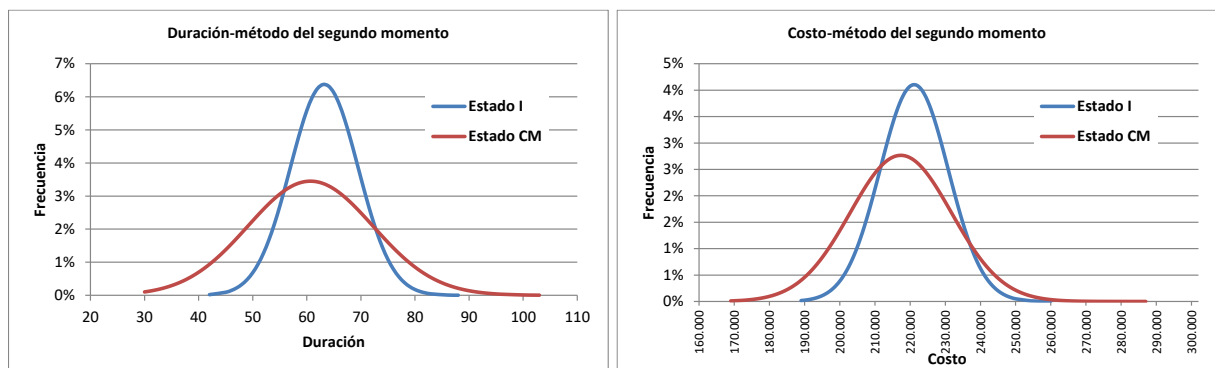


Figura 6 - 40 – Estimación para Estados I-CM

6.4 Caso 2

En este apartado se analizará qué sucede con el mismo proyecto pero que se realiza en un sitio de producción distinto. Debido a esta situación los valores de NS de sitio de producción, infraestructura y de proveedores regionales varían. Por lo cual parte de la PSN cambia.

Para estimar el NS logístico que se tiene en la región específica se utilizará el modelo predictivo del LPI del capítulo 5. Se supone que el proyecto se ejecuta en Tunuyán (Mendoza), ciudad que se encuentra aproximadamente a 85 km de la Ciudad de Mendoza. Según esta predicción de LPI esta zona tiene un valor de NS inferior a los valores medios obtenidos del cuestionario para el modelo. En este caso se hará una variación del NSPREG con valor más probable del 47 % y NSRI del 44 % por afectación proporcional debido a los NS de sitio y de infraestructura.

Dado esto nuevos valores más probables se modifican las distribuciones beta correspondientes.

Debido a que los valores más probables de las distribuciones de los NS varían, esto implica que la PSC es distinta. Por lo cual se deben estimar los nuevos valores k para realizar las simulaciones. Se procede como se indica en el apartado 6.2.1- Constantes de proporcionalidad ($K_{C/Dj}$). Se obtuvieron los siguientes valores $k = 7$ para el estado I y $k = 0,854$ para el estado CM. Se observa que el intervalo de los valores k es más amplio que en el Caso1. Las simulaciones hechas dan como resultado un valor promedio de $NS_{SNP} = 0,52$; lo que difiere en casi un 10 % con respecto al Caso1.

Posteriormente se realizaron las respectivas simulaciones para los dos estados y se obtuvieron los siguientes resultados.

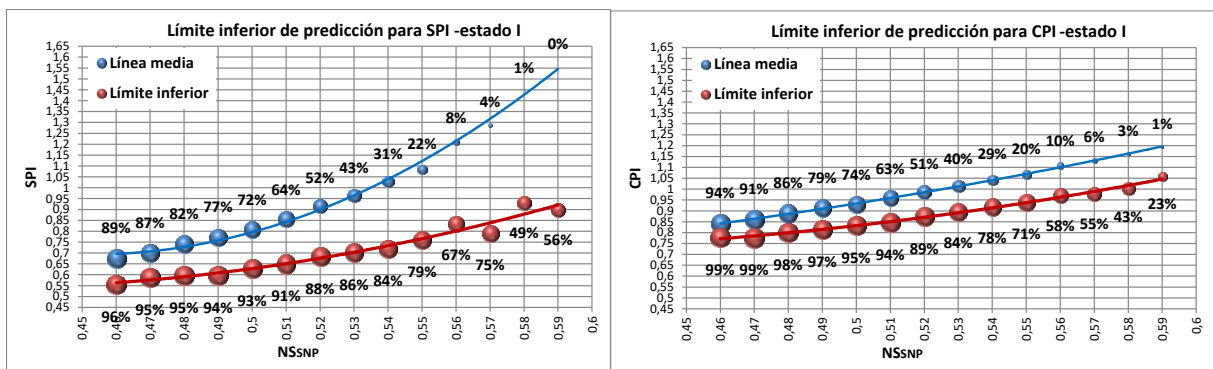


Figura 6 - 41 – Predicciones Caso 1 – Estado I

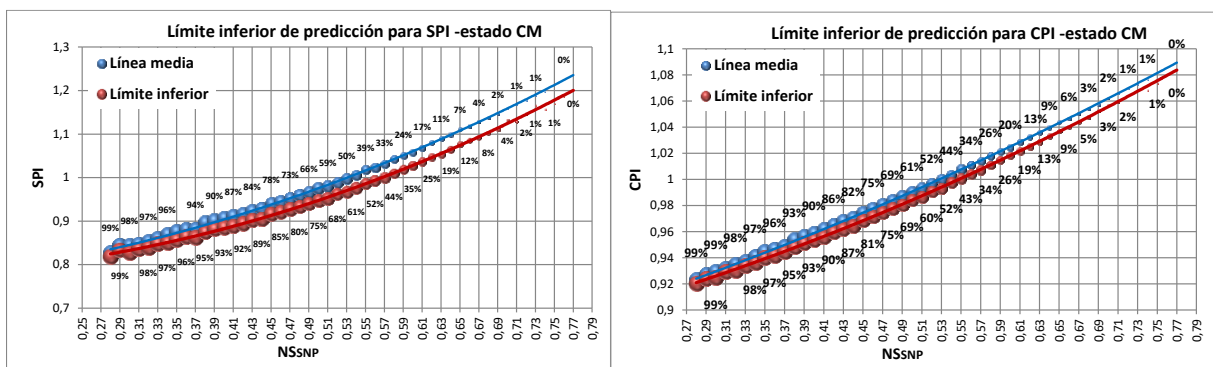


Figura 6 - 42 – Predicciones Caso 1 – Estado CM

En las figuras 6 -41/42 se observa el límite inferior de validez de las predicciones para un 95% de probabilidad de ocurrencia de la variable (SPI o CPI) para cada intervalo de NS_{PSN} estudiado. Por cada $NS_{PSN} - SPI$ se establece cuál es probabilidad de ocurrencia del SPI en el global

de las simulaciones. Así por ejemplo si en la gráfica de SPI para estado I y la curva de límite inferior, se entra con el promedio de $NS_{PSN} = 0,52$; se obtiene un $SPI = 0,675$ y habrá valores superiores a ese SPI en el 88 % de las simulaciones realizadas.

6.4.1 Comparación con Caso1

A continuación, se realizará un conjunto de comparaciones con el Caso1. Se ha supuesto que es el mismo proyecto, con los mismos parámetros de referencia iniciales y sólo se han introducido las variaciones en la PSN vistas en la introducción precedente.

Para explorar en la comparación primero se realiza una comparación entre los valores de SPI en estado I límite inferior. En los resultados de la figura 6-43 se observa dos curvas separadas entre sí lo cual es lógico dado que ambos casos tenían un NS promedio diferente. Además, ambas tienen tendencias (pendientes) diferentes.

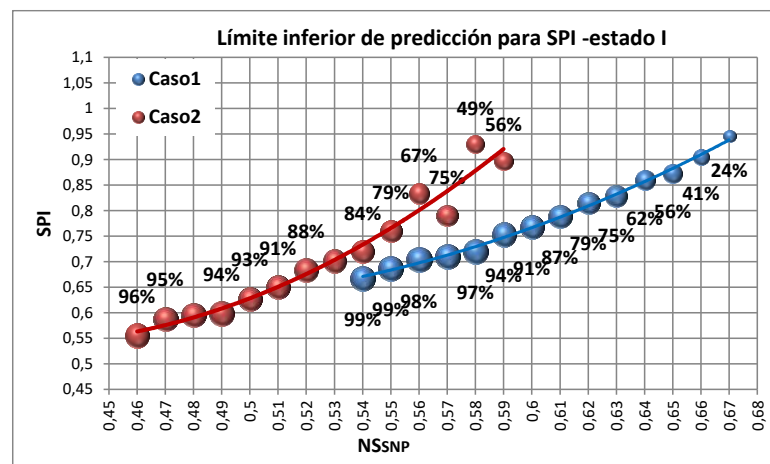


Figura 6 - 43 – Comparación SPI – Estado I – Casos 1-2

Si se entra con los correspondientes NS promedios, se puede observar que para el Caso1 ($NS_{PSN} = 0,61$) se tiene un $SPI = 0,78$ con una probabilidad de ocurrencia del 79 % y para el Caso2 ($NS_{PSN} = 0,52$) un $SPI = 0,68$ y una probabilidad de ocurrencia del 88 %. A lo cual se concluye que para los valores medios se observa que en el Caso1 donde la PSN tiene un mejor comportamiento con respecto de NS se obtienen mejores rendimientos, aproximadamente un 10 % mayores. Pero la probabilidad de ocurrencia de eventos mayores disminuye en un 9 %. Como conclusión existe una relación entre el mejor NS de la PSN y el rendimiento del proyecto.

Se realizó la misma comparación para el caso de SPI estado CM, en la figura 6-44. A priori se

puede observar que en la mayoría de los valores del SPI para distintos NS, en este estado, son mayores los del Caso2. Lo cual se contradice con lo observado en el caso anterior.

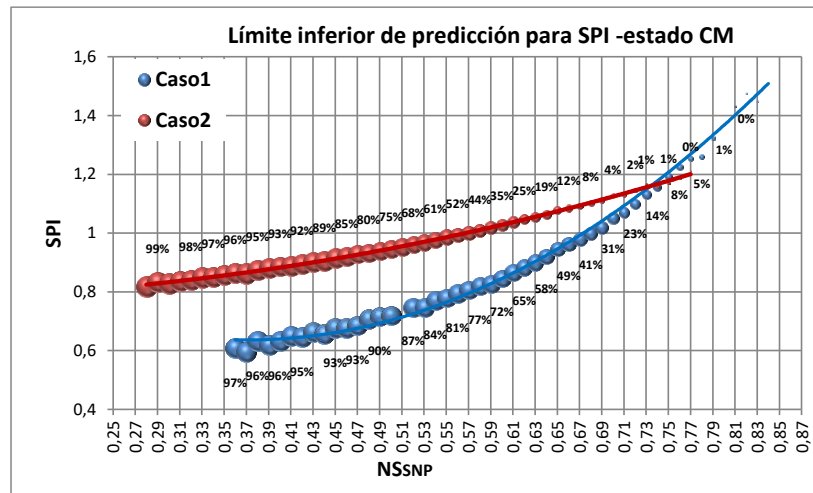


Figura 6 - 44 - Comparación SPI – Estado CM – Casos 1-2

De las contrastaciones anteriores se concluye que para comparar no sólo es necesario observar el valor de las variables sino también las probabilidades de ocurrencia. En primera instancia se realiza una comparación eliminando los valores específicos de NS. Se toma esta decisión debido a que uno de los supuestos consideraba que la variación (desvíos) del NS es la que afecta el rendimiento, según lo visto en la ecuación:

$$SPI = 1 / [1 + k * (XNS_{PSN} - NS_{PSN})]$$

Si se considera que los valores del NS tienden a una distribución normal el término $(XNS_{PSN} - NS_{PSN})$, se lo puede reemplazar por $(Z * \sigma_{NS_{PSN}})$. Por lo cual se reducen los valores de NS relacionados con su media y su desvío estándar. De esta manera se independiza del valor de la media y se pueden comparar las variaciones de ambos casos. Por lo cual la fórmula del SPI quedaría de la siguiente manera:

$$SPI = 1 / (1 + k * Z * \sigma_{NS_{PSN}})$$

En la figura 6-45 se observa en el eje de las x el valor "0" representativo de las medias y varía entre -3 y +3 que serían la cantidad de desvíos estándar (similar a lo que se tienen en una distribución normal estándar, valor Z). De esta manera se logra independencia del valor relativo del NS. En la figura 6-45 se observa los estados CM en línea de trazos y el estado I en línea continua. El tamaño de las burbujas indica la probabilidad de ocurrencia del evento, se

han eliminado las etiquetas para una comprensión más sencilla de la gráfica.

Se observa que las líneas del Caso2 están por fuera de las líneas del Caso1 y que su separación es mayor que en el Caso1. Esto se puede relacionar con los valores de la constante k determinados, que se mencionara que el intervalo para el Caso2 era mayor. Lo cual induce a que la variación de los rangos de valores para diferentes estados de correlación es mayor para el Caso2.

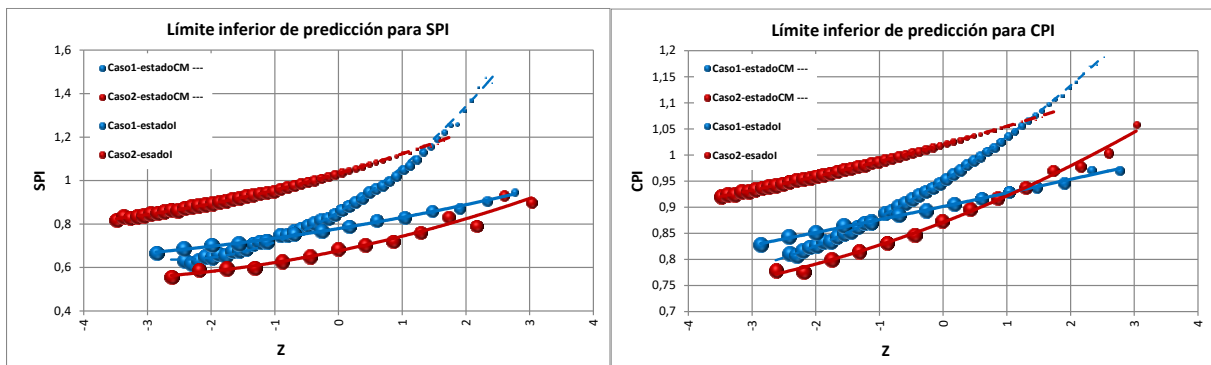


Figura 6 - 45 – Comparaciones en gráficos Z

Esta gráfica induce a concluir que para el estado I mejores NS se obtienen mejores valores de SPI (se observa en el valor 0). Además, que para una variación del NS se siguen obteniendo mejores rendimientos a casi igualdad de probabilidades de ocurrencia.

En cambio, no se observaría lo mismo para el estado CM si se estudia sólo el valor relativo de los NS. Porque para $x=0$ se observa que el SPI del caso2 es mejor. Pero hay un desplazamiento relativo en cuanto a los valores de probabilidades de ocurrencia lo que indica que si bien tiene un mejor SPI su probabilidad de ocurrencia es bastante menor. Esta observación sumada al rango de valores k, presupone que no es posible un estudio por separado de SPI y su probabilidad de ocurrencia para que los Casos 1 y 2 sean comparables.

Por lo cual se genera un índice de importancia de SPI/CPI. El cual se define de la siguiente manera $I_{SPI} = SPI * p$ (dónde p es la probabilidad de ocurrencia del SPI). A mayor índice de importancia menor es el riesgo de la PSN. De esta manera en la figura 6-46 se observa la relación entre los distintos casos y estados. En la misma se puede ver que el Caso2 tiene mayor variabilidad que el Caso1. Además, se percibe en qué conjunto de valores $Z-I_{SPI}$ hay mayor rendimiento relativo de los distintos proyectos (Caso1 y 2).

Esta herramienta de comparación permite observar qué la variación del rendimiento y su probabilidad de ocurrencia está relacionada con la variación del NS, como fuera modelado. Por lo cual para comparar proyectos con diferentes PSN es necesario comparar la variabilidad de la I_{SPI}/CPI con la variación del NS (Z).

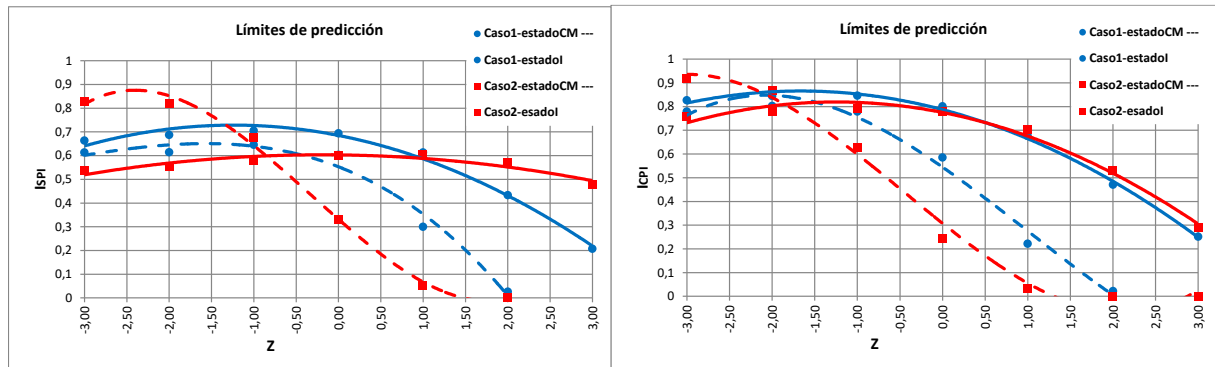


Figura 6 - 46 – Índice de importancia en f(Z)

Se recuerda que entre los límites de los estados I y CM hay un número infinito de estados de correlación entre los distintos recursos del proyecto. Si se toma una correlación global del proyecto del 0,5 siendo el 0 correspondiente al estado I y 1 al estado CM, se podría trazar la siguiente gráfica (figura 6-47).

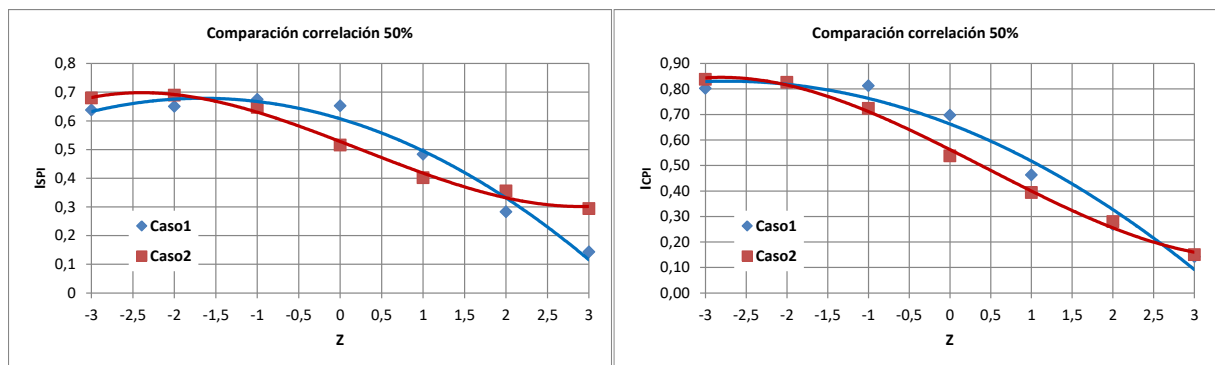


Figura 6 - 47 – Comparación para un valor intermedio de correlación

Esta gráfica indica que el Caso1, para esta condición de correlación, tiene mejores I_{SPI} e I_{CPI} en el intervalo Z (-1,5;2), lo que equivaldría a más del 95 % de los valores de NS. Lo que implica que la PSN del caso1 ofrece menos riesgo para obtener resultados más favorables del proyecto que el caso2.

Se concluye que, esta forma de comparación es una herramienta para la predicción de los resultados de un proyecto para distintas PSN. Hay evidencia de que a mejores

comportamientos de las PSN se obtiene mejores rendimientos de los proyectos, y además se puede obtener cuál es el valor de esta variación.

6.5 Modelo Basado en Agentes (ABM)

6.5.1 Simulación de verificación

Los ABM, por otro lado, tienen la capacidad de modelar agentes autónomos, heterogéneos e interactivos (Gilbert & Troitzsch, 2005). En esta tesis los agentes pasan a ser los recursos, o los proveedores de los recursos. Los cuales interactuarán según los comportamientos determinados en las etapas anteriores de la investigación.

Se utilizó el software NETLOGO (versión 6.1.0), que es un entorno de modelado programable para múltiples agentes. Es utilizado por muchos estudiantes, profesores e investigadores en todo el mundo. También impulsa las simulaciones participativas de HubNet. Su autor es Uri Wilensky y es desarrollado en el CCL (The Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling - Northwestern University). El objetivo de NetLogo es proporcionar una herramienta de prototipado y desarrollo rápido de modelos de simulación, no de aplicaciones finales.

Para el desarrollo se modelará la red del proyecto (PSN), en la cual habrá nodos y agentes en movimientos. Como se mencionara para el desarrollo de ABM es necesario definir los agentes. Se utilizan dos tipos de agentes de Netlogo. Los *“turtles”* representarán los recursos. Los *“patches”* representarán los nodos de la red (proveedores) y las actividades del proyecto.

La red que se modelará es una simplificación de la red que se ha visto en el apartado 5.2, figura 6-48. La red modelada corresponde al proyecto descrito en el punto 6.1 (Caso 1). En la figura 6-49 se visualiza cuáles han sido los eslabones considerados. En la misma se observa lo que se define como *“mundo”* en Netlogo (cuadrilátero en color negro) y en colores los diferentes nodos. Los nodos proveedores generarán los recursos. Se modela la red hasta aquellos nodos que se tiene visibilidad en el reconocimiento de proveedores.

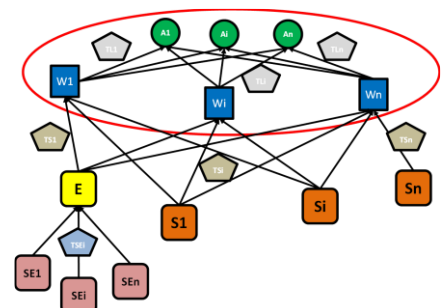


Figura 6 - 48 – Red simplificada

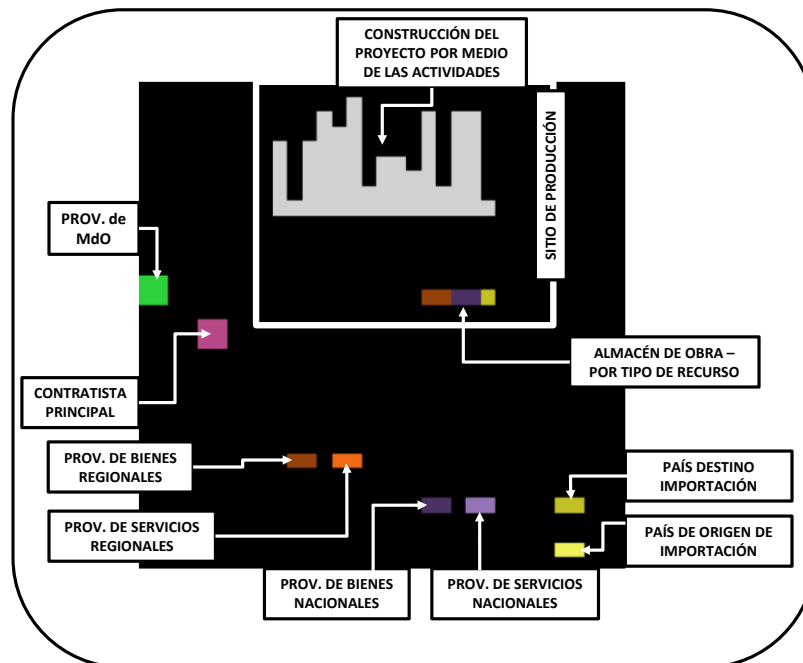


Figura 6 - 49 – Gráfico del modelo de la red en NetLogo

A cada uno de estos nodos (*patches*) se les otorga características de NS, los cuales han sido medidos y definidos en los capítulos 4 y 5 (NSRI, NSPMIX, NSW, NSC, NSPREG, NSS, NSI). En esta simulación se utilizará directamente los valores obtenidos del cuestionario y no aproximaciones de distribuciones como se utilizó en la simulación Monte Carlo. Los agentes tomarán valores aleatorios de una lista.

Para simular la construcción del proyecto se utiliza la constitución de las actividades por medio de un agente (*patch*) por cada unidad de tiempo de duración. Estos agentes tienen las características del proyecto con respecto a duración, costo (sólo se consideró costo directo) y recursos.

Con respecto a los recursos se definen los agentes (*turtles*) por medio de familias (mano de obra, equipos, bienes regionales, servicios regionales, bienes nacionales, servicios nacionales, bienes internacionales). Los recursos como en la realidad se van movilizand por distintos nodos, siguiendo su cadena de abastecimiento. El comportamiento de estos agentes estará influenciado por las características de los distintos nodos que deban atravesar. La cantidad de agentes asignados está en proporción a los costos de la actividad y su participación porcentual. Los resultados de las simulaciones no varían por esta cantidad.

Para cada agente se define la cadena de abastecimiento correspondiente, tratando de que sea

lo más parecido a la realidad. Por ejemplo:

- Un recurso MdO se dirigirá directamente al sitio de producción.
- Un recurso bienes regionales saldrá del proveedor regional, llegará al almacén del sitio de producción y de ahí al lugar donde se realiza la actividad.

En el código Netlogo adjunto en el Anexo VI se pueden observar las diferentes cadenas generadas. Cada vez que un agente pasa por cada nodo se va generando un NS de agente conformado por los NS de nodos. Según los nodos por los que pase se realiza una suma ponderada de su NS. Las ponderaciones utilizadas son resultado de juicio de expertos de empresas de la RCA.

A medida que los recursos están disponibles en los lugares de ejecución de las actividades, estas se van terminando. El código ejecuta lo que se estableció en el apartado 6.1 sobre el modelo. Se utiliza las mismas variables k definidas para el Caso1.

Esta forma de modelar el proyecto en Netlogo es similar a lo realizado en el apartado de simulación Monte Carlo, con planilla de cálculo. Lo cual se realiza para poder comparar los resultados de las simulaciones. Las diferencias se producen en el ingreso discreto de los NS y el aprendizaje anterior para iniciar con las constantes k . Aunque el código permite ingresar diferentes valores de k . También se ejecutan 5000 iteraciones.

Una vez realizadas las simulaciones se observa una mejor performance en tiempo de ejecución. Siendo un 50 % menor el realizado por Netlogo que la simulación hecha por medio de planilla de cálculo.

En la figura 6-50 se observa los resultados que se muestran en el tablero de control que se ha configurado en Netlogo. En este caso se muestra los resultados para la simulación en estado I. Por lo cual la constante $k = 3,4$ y 5048 iteraciones. En una primera comparación visual con los datos obtenidos en el apartado 6.2, se observan nubes de puntos similares en lo que respecta de SPI y CPI en función del NS_{PSN} (NSPROY).

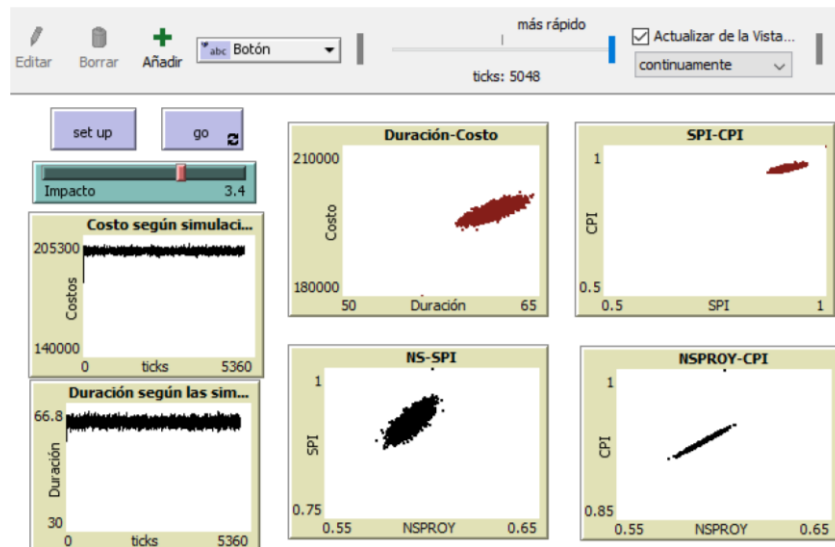


Figura 6 - 50 – Simulación Caso 1 – Estado I

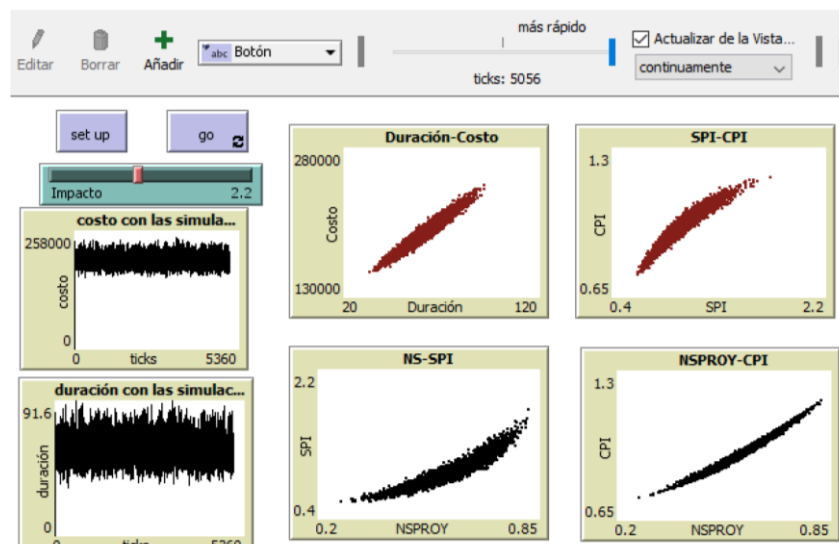


Figura 6 - 51 – Simulación Caso 1 – Estado CM

En la figura 6-51 se observa el mismo tablero en este caso para el estado CM. Se pueden realizar los mismos comentarios con respecto a las nubes de punto y la comparación con los resultados del apartado 6.2.

Si comparamos los resultados estado I y estado CM dado por NetLogo. Se observa una mayor dispersión de los valores en estado CM. Es más evidente en el gráfico de duración y costo en función de los ticks (iteraciones en este caso).

En las tablas 6 – 9/10 se observa la comparación de los valores medios y desvíos estándares de los estados I y CM, para las simulaciones realizadas por medio de la planilla de cálculo y

Netlogo. En el estado I se observa que las medias tienen una diferencia máxima del 4% (positivo o negativo), diferencia aceptable para las aproximaciones que se están realizando. Pero se observa que para este estado la diferencia de los desvíos es significativa y del orden del 500 %.

	ESTADO I									
	DURACIÓN		COSTO		NSSNP		SPI		CPI	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Plan. Calc.	63,80	6,13	221.154	9.750	0,61	0,02	0,89	0,09	0,95	0,04
Netlogo	61,43	0,88	226.577	1.155	0,59	0,005	0,91	0,01	0,93	0,01
Diferencia	4%	598%	-2%	744%	3%	388%	-3%	553%	3%	668%

Tabla 6 - 9 – Comparación de métodos de cálculo, Estado I

En el estado CM se observa los mismos rangos de diferencia en las medias, pero las diferencias en los desvíos estándares son aceptables y del orden del 15 %.

	ESTADO CM									
	DURACIÓN		COSTO		NSSNP		SPI		CPI	
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Plan. Calc.	60,67	11,18	217.360	17.228	0,61	0,09	0,96	0,19	0,97	0,08
Netlogo	58,25	9,16	220.826	15.783	0,59	0,083	0,98	0,15	0,96	0,07
Diferencia	4%	22%	-2%	9%	3%	13%	-3%	22%	2%	16%

Tabla 6 - 10 – Comparación de métodos de cálculo, Estado CM

En ambos estados se observa los mismos rangos de diferencia en las medias, pero las desviaciones estándares tienen diferencias significativas y aceptables. Estas diferencias en los desvíos pueden ser atribuidas al ingreso de los datos de los NS de los diferentes recursos. Recordando que en la planilla de cálculo se ingresaron por medio de distribuciones beta aproximadas a los valores de los cuestionarios. En el caso de NetLogo se ingresaron por medio de los resultados directos de los cuestionarios.

Uno de los desvíos estándar que más interesa para el modelo es el del NS_{SNP} dado que el SPI y CPI están en función de este desvío. En el caso del estado I los desvíos representan aproximadamente entre el 3 % y el 1 % de la media. Mientras que en estado CM son aproximadamente iguales al 14 % de la media, para ambos estados. Por lo cual la diferencia que se presenta en el estado I no es significativa en proporción al valor de la media, por lo cual se considera aceptable, para continuar con el estudio comparativo.

En la figura 6-52 se observa la comparación del estado I, donde se observa las diferencias existentes en la dispersión de los resultados. Siendo los resultados de Netlogo más optimistas que los de la planilla de cálculo.

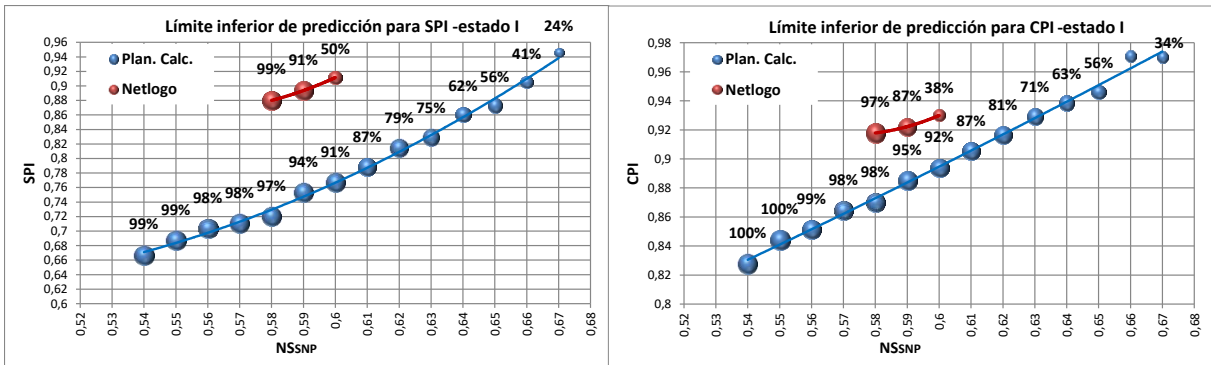


Figura 6 - 52 Comparación de predicciones por distintos métodos – Estado I

En lo que respecta al estado CM en la figura 6-53 se puede ver que no existen diferencias importantes entre ambas simulaciones. Siendo siempre más optimista la simulación realizada por medio de Netlogo.

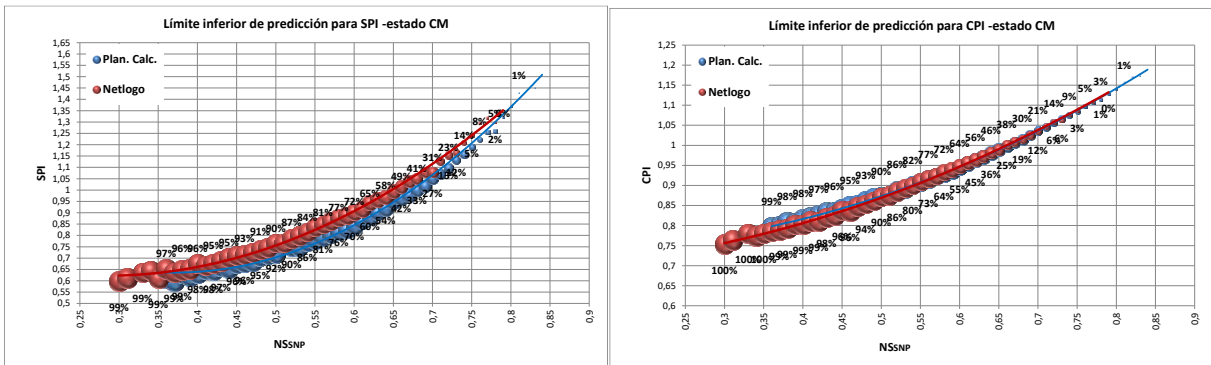


Figura 6 - 53 Comparación de predicciones por distintos métodos – Estado CM

A continuación, se realizará un estudio comparativo de correlaciones entre actividades del estado CM. Se aplicará la misma técnica de cambio de coordenadas que se utilizó en el apartado 6.2.2 (correlaciones).

En la figura 6-54 se observa la relación de correlaciones de las actividades con la duración, el costo y el NS (tamaño de burbujas). En el estado I existe una gran dispersión de los valores de las correlaciones. En el estado CM se produce una concentración de correlaciones y cierta diferencia entre los dos tipos de simulaciones. También se puede destacar que la diferencia

de correlación es debido a que las Cadenas de Abastecimiento individuales son diferentes en sus eslabones y sus ponderaciones en ambos sistemas de simulación, por lo cual pueden variar las correlaciones como se muestra en las figuras.

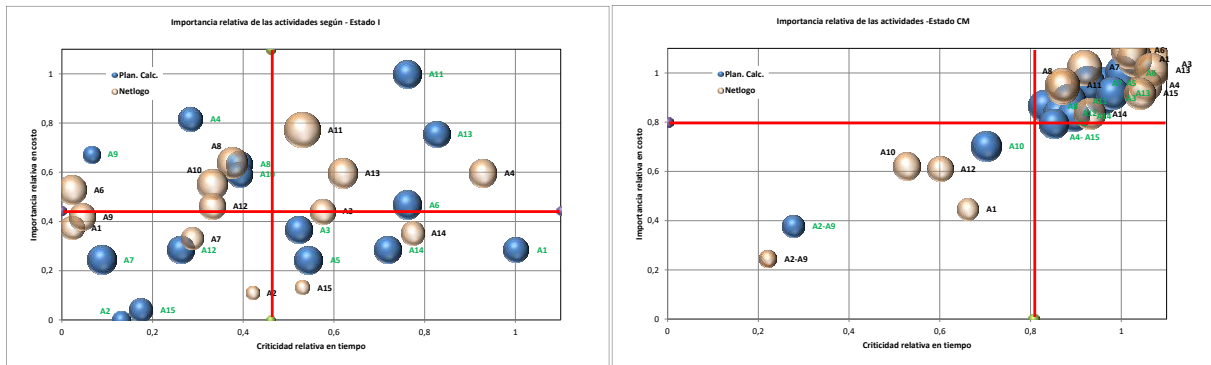


Figura 6 - 54- Comparación de criticidad de actividades por ambos métodos (ver pág. 346 Anexo VII)

A pesar de las diferencias mencionadas se puede concluir que los resultados muestran que se trata de simulaciones de un mismo proyecto y son aceptables para las aplicaciones que se realizarán posteriormente. Si el objetivo fuera encontrar resultados con las menores diferencias posibles sería necesario realizar ajustes para que los modelos fueran comparables con una fiabilidad mayor.

6.5.2 Aplicación del ABM

En el apartado anterior se mencionó que las mayores ventajas de los modelos basados en agentes es la capacidad de modelar agentes autónomos, heterogéneos e interactivos. Por lo cual contar con un modelo basado en agentes verificado, sobre el caso en estudio, permite realizar simulaciones donde los agentes van evolucionando con la ejecución repetida del proyecto.

En esta etapa de la investigación se simulará en Netlogo el aprendizaje de los agentes (*patches*) proveedores. Este aprendizaje está basado en la posibilidad de los agentes de aprender de la simulación anterior.

La variable sobre la que se actuará para simbolizar este aprendizaje es la disminución de la variación del NS de los diferentes proveedores principales. Por lo cual se supondrá que los agentes si obtienen un resultado positivo en la simulación, logran aprender sobre lo realizado

correctamente y para el próximo proyecto pueden disminuir un porcentaje la variación de su NS.

Llevado a la ejecución real de proyectos y se pudiera repetir una cantidad de veces un proyecto (como si fuera un proceso repetitivo) los interesados podrían aprender. En la realidad esto se puede sólo hacer de proyecto a proyecto distinto, tratando de inventariar las lecciones aprendidas. Las herramientas que se pueden aplicar para mejorar los NS de los distintos proveedores son: madurez en gestión de proyecto, gobernanza, flujo de información (BIM), gestión de stocks, entre otras.

A continuación, se muestra el resultado de esta simulación con aprendizaje. En la figura 6-55 se observa que los valores de las variables tienen una tendencia a disminuir con el aumento de las simulaciones, consecuencia del aprendizaje simulado. Las iteraciones terminan en un tiempo finito que se considera que ya no se puede seguir mejorando con la tasa de mejora que se ha simulado.

Si se analizan la media y la desviación estándar cada 500 ciclos de aprendizaje o mejora (Tabla 6-11) se puede observar cómo varían los valores de las variables estudiadas con el aprendizaje. Con respecto a la duración y el costo se obtienen valores inferiores a los valores medios con los que se planificaron. Mientras que el NS_{PSN} aumenta y su desvío estándar disminuye. Con respecto al SPI y CPI se debe recordar que son valores medios y que no están relacionados directamente con los valores medios de la duración y el costo. Los valores de SPI y CPI tienen su tendencia hacia el valor de 1 y su desvío estándar disminuye.

Ciclos de aprendizaje	Valores	Duración	Costo	NS_{PSN}	SPI	CPI
0---499	μ	58,0	220.441	0,59	0,93	0,96
	σ	8,4	14.399	0,07	0,15	0,06
500---999	μ	55,7	217.068	0,61	0,96	0,97
	σ	6,2	10.427	0,06	0,12	0,05
1000---1499	μ	54,4	215.344	0,62	0,98	0,98
	σ	4,3	7.089	0,04	0,10	0,03
1500---2000	μ	52,8	212.921	0,63	1,00	0,99
	σ	2,8	4.175	0,02	0,08	0,02

Tabla 6 - 111 – Comparación de valores para diferentes ciclos de aprendizaje

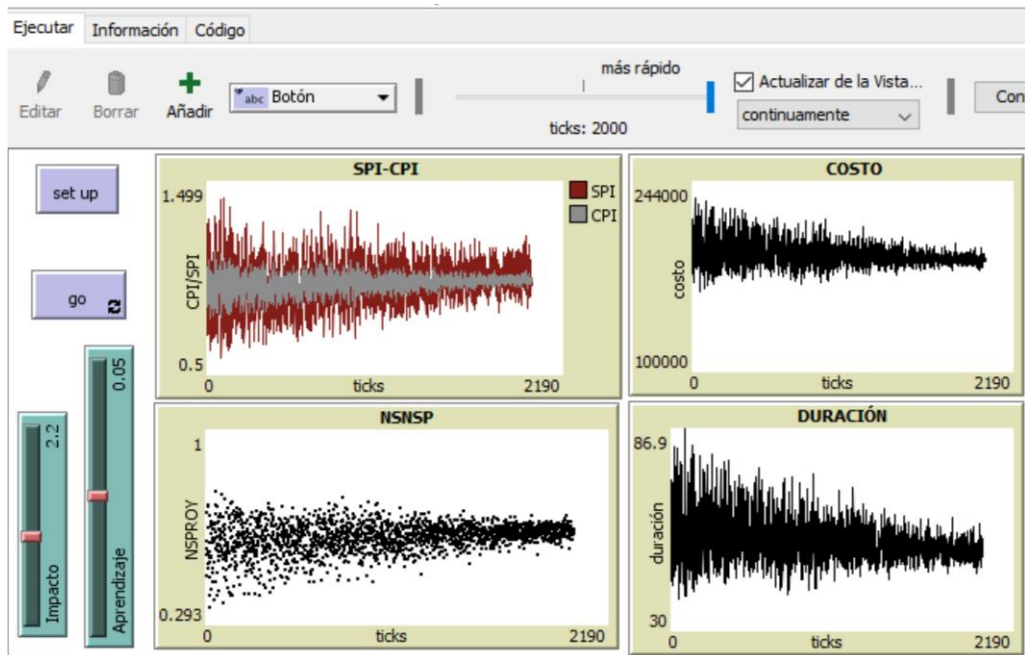


Figura 6 - 55 – Resultados de simulación de aprendizaje

CAPÍTULO 7

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

7 CAPÍTULO DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

7.1 DISCUSIÓN

7.1.1 Análisis de la Perspectiva Teórica (aspectos específicos)

La literatura relevada y analizada para la tesis trata sobre una vasta y rica variedad de temas que están relacionados con distintos aspectos de la investigación. Dentro de los temas se observa una gran cantidad de autores e iniciativas para mejorar el rendimiento del tema principal de la tesis CSC.

Esta información lleva a mostrar que la situación problema planteada para la tesis es de actualidad y que existe una diversidad de caminos para intentar solucionar el rendimiento de los proyectos por medio de la mejora de la CSC.

Con respecto a la temática de los modelos predictivos se determina que: si bien hay un conjunto de propuestas de modelos que relacionan distintas temáticas y herramientas, no se observa la existencia de modelos que relacionen las variables de la manera que se propone en esta investigación.

De la bibliografía de los modelos existentes se obtiene cuáles son las herramientas más aplicables a la temática de referencia, a saber: simulación de ABM, análisis de redes sociales, análisis de sistemas sociales complejos, simulación Monte Carlo, análisis por dinámica de sistemas y eventos discretos, entre los más destacados. Esta base fue considerada para definir qué tipo de simulación utilizar para demostrar la hipótesis.

A través del Marco de Referencia establecido se logra una contextualización de la situación del problema dentro de la CSC. Se muestra el contexto general de las IBP y sus diferentes problemáticas. Esta síntesis hace comprender el estado evolutivo de la gestión de la CSC y cómo esto afecta el rendimiento de los CP.

Se destaca que hay una escasez de investigaciones donde se relacionen el rendimiento de los CP y la CSC.

7.1.2 Análisis de los estudios exploratorios, descriptivos y correlacionales

A través del proceso de la investigación se fue pasando por distintas etapas para conformar

un conjunto de evidencias que llevaran a realizar un estudio explicativo.

7.1.2.1 Exploratorio (hasta la 7.1.2.5 ampliar para para demostrar de una manera más contundente la contribución de cada etapa de esta investigación de doctorado, el candidato pudiera usar referencias de publicaciones de años anteriores para demostrar la originalidad de la tesis en comparación a estudios publicados en la literatura.

El estudio exploratorio evidenció la existencia de la problemática en el medio estudiado RCA. Tanto la simulación de modelos de negocios y el estudio de casos de la región, llevaron a concluir que la relación entre rendimiento de CP y CSC era una realidad. Esta evidencia que se obtuvo de las muestras obtenidas, más las investigaciones realizadas por otros autores, en esta región, habilitaron a continuar con la investigación.

7.1.2.2 Descriptivo

Confirmada la situación problema en la RCA, se concibió un modelo conceptual que pusiera en relieve los distintos actores y sus relaciones dentro del CSC. Se contextualizó y caracterizó la PSN y el modelo de análisis propuesto. Modelo que resume:

- Datos planificados: características del proyecto
- Datos de modelación de la red: características de la red de abastecimiento (interna y externa)
- Datos de proyecto y modelo de red: análisis de utilización y criticidad de recursos.

Esta modelación conceptual simplificada del problema instó a la búsqueda de datos que explicaran en número las diferentes variables mencionadas en el diseño de la investigación y diagnosticaran en forma limitada la performance de la RCA.

7.1.2.3 Diagnóstico

Se procedió a la búsqueda de datos por medio de archivos, análisis secundario y de cuestionario. El cuestionario muestra la opinión de un conjunto de profesionales relacionados con las temáticas de referencia. Además, la conformación de su estructura hace posible que se replique en otras regiones, para una posterior comparación de resultados del modelo y las regiones.

Del análisis de los datos recolectados, se conformó un cuadro comparativo de indicadores que decantaron en el diagnóstico de la CSC de la RCA. En la figura 4-10 para cada conjunto de eslabones se consigna el diagnóstico de los rendimientos en logística y proyectos, según corresponda. Los valores consignados son promedio, debiéndose hacer un estudio particular para cada caso (estudio Correlacional).

Según F5 la CSC-RCA es una cadena fiable, con organizaciones que presentan problemas de desarrollo, de planeamiento estratégico y de cultura organizacional. El mayor porcentaje de empresas es del tipo PYME y pocas de clase mundial.

- **Gestión del Proyecto**

A nivel mundial (F3) en el sector de la construcción se estima que se pierde el 8,6 % de lo invertido. Esto está asociado a un nivel de madurez de las empresas basadas en proyectos de aproximadamente el 43 % y además solo el 53 % de los proyectos se completan sin desvíos en plazo y 56 % en costos. Esta encuesta no ofrece valores para Argentina. Para América Latina las pérdidas promedios se valoran en el 10,2 % y para Brasil del 12,2 %.

A nivel Argentina el desvío en costo es de 17 % (F5) y en plazo del 24 %. En promedio solo el 46% de los proyectos termina sin desvíos de costo y el 26 % sin desvíos en plazos. Estos valores están lejos de los porcentajes a nivel mundial y de la media de América Latina.

En el caso de la RCA el desvío en costo en promedio es cercano al 19,5 % (F6-F9) y en plazo del 44,5 %. Además, solo el 48,5 % de los proyectos se termina en costo y solo el 37 % en plazo. Estos valores difieren de lo sucedido a nivel nacional. También, se observa un nivel de madurez en gestión de proyecto del 63 % superior a la media global.

Según los profesionales de la región las principales causas del bajo rendimiento son por: fallas de planificación, problemas de logística y SC, y productividad de la mano de obra. Para superar estos problemas se proponen principalmente soluciones en el aspecto logístico y SC, gestión en general y recursos humanos (F7).

- **Sitio de producción**

El rendimiento de las actividades está condicionado por las características del entorno (topografía, infraestructura, servicios, urbanismo, clima, ubicación, etc.), el tipo de contratista y los proveedores seleccionados. Esto depende de cada proyecto.

Para la RCA el NS logístico es de 57 %-F9. Asociado a un rendimiento de infraestructura regional del 60 %, siendo superior a los promedios nacionales dados por F1 y F2 (57 y 51 % respectivamente). Las causas de esta diferencia pueden deberse a la disparidad de desarrollo económico-social de las distintas regiones en Argentina.

El rendimiento de la mano de obra de la región –en trabajo productivo- es de 53 %-F7, estando por debajo del promedio nacional de 59 %-F4 o del 60 %-F8. El resto del tiempo laboral se divide en 22 %-F7 de trabajo contributivo y 25 %-F7 de trabajo no contributivo. El valor del trabajo no contributivo está 11 % por encima de los valores aceptables. Además, se estima que del 22 % del trabajo contributivo el 36 % está dedicado solo a transportes.

- **Transportes**

El rendimiento global del transporte está asociado a las zonas de influencia. Según los datos de F9 la distribución de proveedores de los proyectos de esta región están conformados por 56 % de origen regional, 21 % nacional (no perteneciente a la región) y 23 % del exterior.

Para los proveedores regionales el rendimiento de los transportes está asociado con el nivel de infraestructura 60 %-F9 y a la competitividad y calidad de los servicios logísticos que a nivel nacional está en 57 %-F1. Por lo tanto, el NS de los transportes regionales no será superior al 60 %, así como el nacional (dependiendo de la región de Argentina).

Los transportes de proveedores del exterior están condicionados por los rendimientos regionales y nacionales. Pero, además, interviene la variable de comercio exterior: eficiencia de los despachos aduaneros (origen y destino), frecuencia de arribo de embarques al destinatario dentro del plazo previsto (origen). Así cada caso requerirá una evaluación especial. En general en Argentina el origen de las importaciones corresponde a países de rendimientos logísticos superiores.

- **Contratista**

Al ser una empresa basada en proyectos, es importante su madurez en PM. En la región tiene un nivel del 63 %-F9 valor muy superior al promedio mundial de 43 %-F2. Esta diferencia se puede asociar a la capacitación de los recursos humanos de la población. Pero este nivel de madurez no se refleja en un mejor rendimiento de los proyectos.

El NS logístico de las empresas de proyecto es de 59 %-F9, valor inferior al determinado para el promedio de la SC regional que se estima en 65 %-F5, pero este valor incluye el mix de empresas de la SC.

Con respecto a la gestión de recursos internos el NS es del 57 %-F9, está por debajo de lo obtenido en el global del CSC regional 62 %-F5. En los recursos externos el NS es de 62 %-F9. Está por debajo de lo obtenido en el global del CSC regional 65 %-F5. Es decir, las empresas de proyectos están con rendimientos logísticos inferiores al resto de las empresas que integran la CSC-RCA.

- **Proveedores de primer nivel**

En los apartados anteriores se mencionó la división de origen de los proveedores. En general en los proyectos de la región se estima un NS de proveedores del 62 %-F9, que considera el mix de proveedores mencionado y la influencia de los servicios de transporte. El promedio regional es del 66 %-F5-F9. Con eficiencia de logística empresarial del 65 %-F5.

A escala nacional el NS de proveedores se estima en 57 %-F1 o 54 %-F2, esto está asociado a las diferencias de desarrollo económico-social de las diferentes regiones de Argentina.

Con respecto a los proveedores internacionales dependerá de su origen. Si se toma de referencia el LPI, se puede observar una diferencia importante entre los países desarrollados y Argentina, 59 %. Por ejemplo, Australia 76 %, Canadá 79 %, Estados Unidos 80 % y Reino Unido 81 %. Si comparamos con países emergentes los datos son: India 68 %, China 73 %, Brasil 62 %, Chile 65 % y Colombia 52 %.

- **Relación logística y CSC- con el rendimiento del proyecto**

De los datos obtenidos de F5 y F9, se puede estimar cuáles son las pérdidas que ocasiona la no eficiencia de la logística y la SC, en la RCA. Los desvíos promedio en tiempo son

aproximadamente del 8,6 % y de costo del 4,0 % de la línea base del proyecto. A continuación, el gráfico muestra los indicadores obtenidos (ver fig. 4).

Este diagnóstico muestra la situación actual de las empresas de la CSC regional y los indicadores de gestión de proyectos y del nivel de servicio de la CSC, ver figura 4-10 con diagnóstico resumido.

7.1.2.4 Sesgo o Riesgos de los datos

En esta parte cabe destacar el sesgo o riesgo de estos datos de partida, dado que los mismos han sido utilizados para la demostración de la hipótesis. Se recuerda que la población a encuestar sería todo profesional relacionado con cargos jerárquicos en la gestión de proyectos. La cual era imposible acceder debido a la limitación de recursos existentes para la investigación. Por lo cual se procedió a analizar sólo un estrato de la misma. De este estrato sólo se obtuvo una muestra que para un nivel de confianza del 95 % de la media, ofrece un error estándar del 5,6 %.

Lo explicado anteriormente lleva a advertir a los lectores e investigadores futuros que los resultados obtenidos son limitados al nivel de confianza y error del cuestionario y al nivel de confianza de los datos obtenidos de las otras fuentes de información. Además de la situación de contexto relacionado con la región donde se realiza el estudio.

7.1.2.5 Correlacional

El diagnóstico elaborado fue a través de valores medios de los datos obtenidos. En esta etapa se procedió a correlacionar las diferentes variables relevadas por el cuestionario. De este análisis se observó que la mayoría de las variables no tenían una correlación directa observable. Situación que se asocia a: muestra acotada y dispersión de tipología de proyectos. Además, se debe destacar que las pérdidas totales de los proyectos están relacionadas a varias causas que no han sido parte del estudio de la investigación.

Para las variables independientes del proyecto se pudieron ajustar distribuciones de probabilidad tipo β a los datos del cuestionario.

Para concretar uno de los objetivos de la tesis, se realizó un análisis correlacional entre el LPI y variables socio-económicas. De este estudio se estableció un conjunto de regresiones

lineales para predecir valores de rendimiento logísticos. Este modelo se utilizó para predecir valores de NS logísticos de otras zonas de la provincia de Mendoza. Los cuales posteriormente se utilizaron en las simulaciones.

Se debe mencionar que este modelo predictivo de valores LPI está sujeto a sus limitaciones asociada al conjunto de datos procesados. Los valores son orientativos y que son comparables dentro del mismo modelo. Se considera que la confiabilidad del modelo es aceptable para los objetivos de investigación. Además, se muestra consistencia en la predicción de los valores obtenidos para las regiones de Mendoza.

7.1.3 Análisis del estudio explicativo

Dentro del estudio explicativo se han ido analizando y discutiendo los resultados obtenidos, como parte de un proceso de aprendizaje para la evolución de la investigación. En este apartado se consideran los principales.

7.1.3.1 Modelo matemático simplificado

Los valores para el cálculo de los índices de rendimiento del cronograma y el costo en función de los rendimientos de la PSN, están dado por las siguientes expresiones (apartado 6.1.5):

$$CPI = 1 / [1 + \sum_j k_{Cj} (NSm_j - NS_j)] ; SPI = 1 / [1 + \sum_j k_{Dj} (NSm_j - NS_j)]$$

o sus versiones simplificadas (apartado 6.4.1)

$$SPI = 1 / (1 + k_D * Z * \sigma_{NSPSN}) ; SPI = 1 / (1 + k_C * Z * \sigma_{NSPSN})$$

El análisis de estas expresiones ofrece la explicación del modelo. De las mismas se desprende la relación entre los indicadores de gestión de proyecto y el desvío estándar del NS de la PSN, asociados por una constante k. Los valores de k y del desvío estándar están completamente asociados al proyecto que se quiere ejecutar y a la red de abastecimiento modelada.

Si bien estas expresiones simplificadas son fácilmente explicables, el cálculo de los valores no es tan sencillo dado que están en relación a: cantidad de actividades del proyecto, discretización de los recursos y cantidad de nodos posibles de la red de abastecimiento. Por lo cual se recurre a técnicas de simulación para calcular y predecir resultados del rendimiento del proyecto asociado solamente al NS de la red de abastecimiento. Se supone calidad constante.

7.1.3.2 Caso 1 – simulación

El Caso 1 simulado por medio del método Monte Carlo usando planilla de cálculo, sirvió para lograr entender el comportamiento matemático del problema y cómo era el comportamiento de las diferentes variables.

Dentro los resultados a resaltar de esta simulación se pueden mencionar:

- La obtención de las constantes k para los dos estados de correlación (Estado I independencia de recursos de todas las actividades, Estado CM máxima correlación en el comportamiento de los recursos). Se definieron estos dos estados debido a la imposibilidad de contar con un caso donde se pudiera establecer la correlación del mismo. Con lo cual el modelo predictivo puede marcar un intervalo de resultados entre los dos estados de correlación.
- Determinación de las criticidades de recursos y actividades (figuras 6-24 a 28). Con lo cual el director de proyecto puede gestionar activamente, dando prioridades, aquellos recursos y actividades que son los más influyente en los resultados. Si bien en el PM clásico esto se hace, las herramientas utilizadas tienen sus limitaciones.
- Estudio de las variables SPI y CPI en función del NS_{PSN} , lo cual otorga una perspectiva de análisis de cómo varían, cuál es su relación (figuras 6-29 a 32). Estas relaciones asociadas a la probabilidad de ocurrencia del evento. Demarcando un intervalo de límite inferior de predicción, según sea el estado de correlación.
- Herramienta de predicción para los directores de proyecto asociado con los elementos de decisión que generalmente gestionan, como es la Curva S. Determinación de intervalo de predicción para Duración y Costo final del proyecto, advirtiendo que las formas tradicionales de estimación tienen la falencia de trabajar con valores medios. De esta manera se obtiene un intervalo de confianza del 95 % delimitado por los estados de correlación.
- También se puede predecir para distintos estados de avance del proyecto el CPI y SPI, para poder tomar medidas correctivas y preventivas durante el proceso de ejecución del proyecto (figura 6-34). Donde se observa que hasta un cierto porcentaje de avance del proyecto los valores de las variables son muy inestables y fácilmente corregibles.

Pero pasados cierto porcentaje de avance sin hacer modificaciones de las condiciones de la PSN las variables tienden a estabilizarse hacia un valor constante o de muy poca variación. Estos gráficos permiten el director de proyecto tomar decisiones sabiendo realmente que está pasando en el proyecto. Si sólo es una alteración puntual del índice o ya es una tendencia marcada.

- Como uno de los objetivos planteados, era lograr una herramienta de predicción que permitiera tomar decisiones. En el apartado 6.2.2.8 se presenta el caso de una mejora de NS cuando se está ejecutando el proyecto. Esta aplicación muestra que con una mejora del NS de los recursos internos (lo más fácilmente gestionables para una organización) se pueden lograr mejoras en los resultados finales (figuras 6-35 a 37). A través de un análisis de sensibilidad se podría establecer cuánto es lo conveniente mejorar en función de las variaciones del SPI y CPI. Estas mejoras siempre están asociadas a una gestión eficiente de los recursos, por lo cual en la práctica se debe medir y evaluar cuáles son las que ayudan a mejorar efectivamente le NS de los recursos internos.

7.1.3.3 Analítica del segundo momento

Por medio de este método se comprueba que con algunos de los resultados del Caso 1 se obtienen valores similares, con ciertos desvíos. Se utiliza la matriz de covarianzas de la duración y los costos de las actividades, para los dos estados estudiados (I y CM). Los resultados del análisis coinciden con la bibliografía (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020) consultada por lo cual valida la simulación realizada.

7.1.3.4 Estudio del Caso 2

Para cumplir con uno de los objetivos planteados: modelo predictivo para un mismo proyecto en distintos lugares de sitio de producción con variación parcial o total de la PSN. Se procedió a realizar una simulación del mismo proyecto con cambios de sitio de producción (Tunuyán-Mendoza) y en consecuencia modificación de parte de las distribuciones de probabilidades.

Dentro de los resultados se observa una modificación del NS_{PSN} medio y de su desvío estándar (apartado 6.4), comparado con el Caso 1. Para poder realizar una efectiva comparación de un mismo proyecto en contextos de PSN diferentes, se procede a realizar un gráfico modificado.

Para lo cual se utilizan las expresiones simplificadas del modelo matemático en función de “ Z y σ_{NSPSN} ”. Además, se genera un Índice de Importancia (del SPI o CPI), cuanto mayor sea su valor mejores rendimientos y probabilidades de ocurrencia tiene el evento (proyecto menos riesgoso con respecto a la PSN), ver figura 6-46 y 47. Estas gráficas muestran que para valores medios de NS ($Z=0$) cuál red de abastecimiento es menos riesgosa para ejecutar el proyecto. Además, se puede establecer un intervalo de confianza donde se asegura cuál PSN es menos riesgosa para ejecutar el proyecto.

7.1.3.5 Modelado Basado en Agentes

Este modelo se calibra y parametriza a través de una simulación Monte Carlo del Caso 1 comparado con lo ejecutado por medio de hoja de cálculo. Este modelo se hace con entradas de datos discretos obtenidos directamente del cuestionario, sin aproximación de distribuciones de probabilidades para las variables más importantes. Se concluye, después de la parametrización, que el modelo por agentes es fiable para el estudio evolutivo.

Se procede a realizar una simulación donde se modela un aprendizaje (madurez) de los agentes que representan los proveedores. En los resultados obtenidos se observa que un aprendizaje sostenido en la repetición del proyecto puede producir hasta valores mejores que los estimados en la planificación.

Además, estos resultados dan indicios de que generando un aprendizaje durante la ejecución del proyecto o una selección de proveedores con menor dispersión (menor desvío estándar en el NS), se puede mejorar los resultados de los proyectos.

7.2 Contrastación de resultados con otros estudios similares

En el desarrollo de la tesis se mencionó que no se han encontrado, a la fecha, estudios similares. Se mencionarán aquellos que se consideran los más comparable.

En Perú se ha estudiado la relación entre la gestión logística y su influencia en el valor ganado. Se concluye que una buena gestión logística está asociada al resultado positivo del valor ganado (Avila Ramírez, 2017). Conclusión que está orientada con los resultados obtenidos.

- **LPI-PBI-PEA-Actividad económica**

De este estudio se obtienen resultados que están relacionados con el marco teórico desarrollado para el LPI en el apartado 4.2.2.1. Además coincide en su lógica con lo analizado por Farahani-2009 (Farahani et al., 2009).

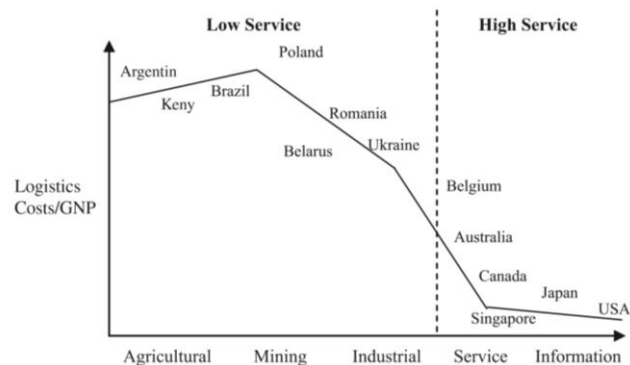


Figura 7 - 1 Logística y actividades económicas, extraído de (Farahani et al., 2009)

En el gráfico se observa que la eficiencia de costos logísticos es mejor según el desarrollo de las actividades económica de los países.

- **Estudio de la Analítica del segundo momento**

Como se mencionó en el apartado anterior las conclusiones obtenidas del estudio de esta tesis son concordantes con las esgrimidas por Damnjanovic (Damnjanovic & Reinschmidt, 2020).

- **Modelo de simulación**

A través de otro diseño de investigación se puede estimar valores de demoras o mejoras en los resultados cambiando los NS. Hatmoko 2010, utiliza un software de riesgo para mostrar cómo es la influencia de cambiar subcontratistas (Hatmoko & Scott, 2010). Siendo este uno de los trabajos más similares, pero no completamente comparable.

Otro de los estudios por mencionar es el de Thunberg 2013 (Thunberg, 2013) sobre la aplicación del modelo SCOR, donde la performance que se midió de los proveedores era muy baja, aproximadamente un NS del 38% de pedidos perfectos.

7.3 Contratación de hipótesis con los resultados

7.3.1 Hipótesis Secundaria

HS1: El nivel de servicio de la red de abastecimiento de un proyecto de construcción en la región de Cuyo Argentina está asociado principalmente al nivel de servicio de los proveedores regionales donde se realiza el proyecto.

Hay evidencia de la validación de esta hipótesis con los resultados obtenidos del apartado 6.2.2.4. En el cual se observa (ver figura 7-2) que si se considera como parte de los recursos regionales a los RI (recursos internos) son los que más influyen en el resultado del NS_{PSN} y en las variables de costo y tiempo. Además, los que se consideran a priori REG (recursos regionales) son los que más riesgos presentan en su SC.

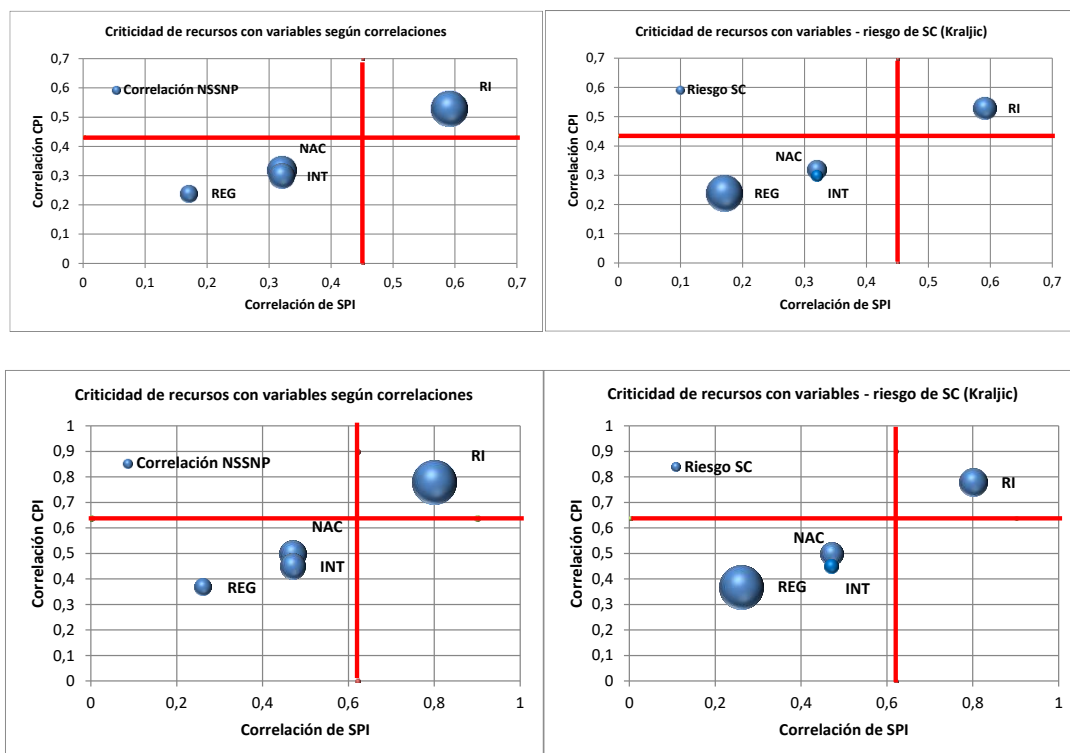


Figura 7 - 2 Importancia relativa de los recursos

HS2: El índice de rendimiento logístico de una región está asociado al ingreso per cápita y la actividad económica.

En el apartado 5-3 se observa evidencia de la comprobación de esta hipótesis para el set de datos analizado. Se construye una herramienta de predicción por medio de regresiones

lineales donde se relaciona el LPI-PBI-PEA-Actividades Económicas. La cual ofrece resultados aceptables en su aplicación en la RCA.

7.3.2 Hipótesis General

HG: *El rendimiento de un proyecto de la Región de Cuyo Argentina varía en función del desvío estándar del nivel de servicio de la red de abastecimiento del proyecto.*

La evidencia de validación de esta hipótesis viene dada por los resultados obtenidos del modelo matemático simplificado (apartado 6.1.5) y las simulaciones correspondientes del Caso 1, por medio de método Monte Carlo (hoja de cálculo). Donde se comprueba que el modelo diseñado produce resultados donde los indicadores de costo y tiempo varían según la variación del NS de la red de abastecimiento.

Estos resultados se verifican en:

- La simulación del Caso 2 y su comparación con el Caso 1 (apartado 6.4.1), se resumen los resultados en las gráficas (ver figura 7-3): índice de importancia (CPI/SPI) en función de Z.

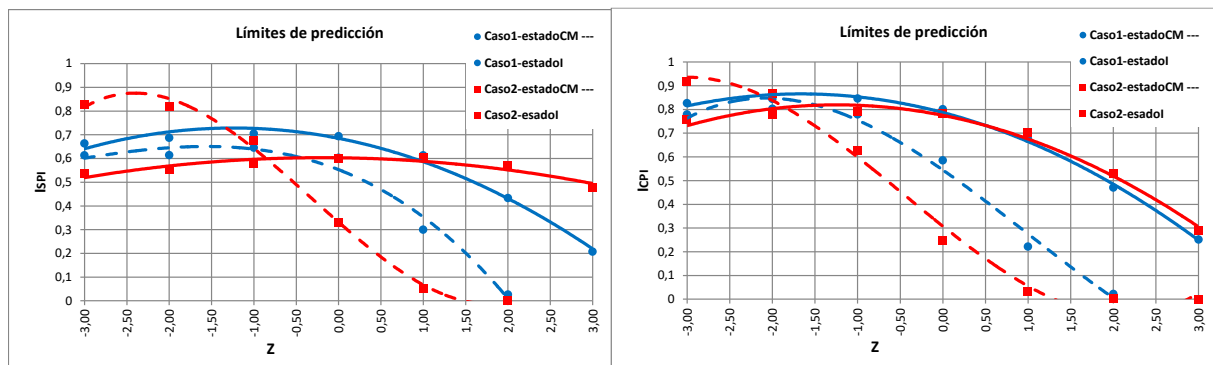


Figura 7 - 3 Índice de importancia en función de Z

- La simulación del Caso 1 por medio de ABM (Netlogo), en donde a través de un aprendizaje de los agentes (evolución) produce que los desvíos estándares de los NS disminuyan y se mejoren los rendimientos de los proyectos (apartado 6.5.2). Ver figura 7-1 comparaciones de ciclos de aprendizaje.

Ciclos de aprendizaje	Valores	Duración	Costo	NSSNP	SPI	CPI
0---499	μ	58,0	220.441	0,59	0,93	0,96
	σ	8,4	14.399	0,07	0,15	0,06
500---999	μ	55,7	217.068	0,61	0,96	0,97
	σ	6,2	10.427	0,06	0,12	0,05
1000---1499	μ	54,4	215.344	0,62	0,98	0,98
	σ	4,3	7.089	0,04	0,10	0,03
1500---2000	μ	52,8	212.921	0,63	1,00	0,99
	σ	2,8	4.175	0,02	0,08	0,02

Tabla 7 - 1 Comparación de ciclos de aprendizaje

7.4 CONCLUSIONES sería muy útil incluir una versión refinada de la Figura 3.1 con el fin de reflexionar como el mapa mental de alcance y diseño de la investigación pudiera cambiar si la investigación fuera llevada a cabo otra vez, conociendo las realidades y barreras encontradas por el estudiante a lo largo de este proyecto de doctorado.

7.4.1 Conclusiones Generales

Esta tesis se enfocó hacia las nuevas tendencias del PM al tratar por medio de la investigación plantear nuevos modelos predictivos, para mejorar la gobernanza de los proyectos.

La motivación inicial consistió en la búsqueda de una herramienta que permitiera mejorar la situación de los bajos rendimientos de los proyectos. Los que producen una pérdida aproximada del 10% de lo que se invierte en ellos.

Siendo una de las causas (riesgo) principales la baja performance de las cadenas de abastecimiento de los proyectos. Parte del problema científico, se concentraba en la falta de evidencia de la existencia de modelos predictivos que relacionara los rendimientos de la CSC y los CP de forma sistémica.

Lo cual llevaba a la necesidad de atacar el problema desde de una forma global y sistémica, en la red de abastecimientos, para poder otorgarle previsibilidad y disminuir la dispersión de los resultados de los proyectos. Además de proveer una herramienta para la toma de decisiones. De ahí surgieron un conjunto de preguntas:

¿Será posible establecer en qué magnitud y de qué modo un cambio en el rendimiento de la red de abastecimiento de los CPs impactará en los desvíos en costos y plazos de un proyecto?

Ante cambios en la red:

- ¿Reaccionarán todos los proyectos proporcionalmente en la misma magnitud?
- ¿Habrá redes de proyectos más resilientes?
- ¿Por qué y cuáles son los factores críticos de desempeño que identifican a este tipo de proyectos?

En la búsqueda de posibles soluciones se plantearon los objetivos:

Objetivo general:

Desarrollar un modelo predictivo de Redes de Abastecimiento de Proyectos con uso intensivo de recursos y de sitios de producción de ubicación variable, por medio del rendimiento de sus nodos y así predecir el valor de los rendimientos de los Proyectos de Construcción, en la Región de Cuyo Argentina.

Y algunos objetivos específicos consecuentes con el objetivo general:

- Elaborar un marco analítico a fin de explicar y comprender algunas dinámicas fundamentales de estas cadenas.
- Definir actores y vinculaciones entre los mismos en las cadenas.
- Definir indicadores para medir el rendimiento de estas cadenas.
- Desarrollar el modelo predictivo.
- Verificar la viabilidad del modelo predictivo de SC orientada a proyectos, así como los beneficios que se obtendrían con su aplicación y comparación.
- Proveer con el modelo validado una colección de datos (Data Warehouse / Data Mining) que permita a futuro, contribuir a mejorar la gestión de las redes de abastecimiento orientada a proyectos.

De esta manera se fue construyendo el desarrollo de la tesis para lograr el fin último de comprobación de la hipótesis general:

El rendimiento de un proyecto de la Región de Cuyo Argentina varía en función del desvío estándar del nivel de servicio de la red de abastecimiento del proyecto.

A continuación, se realizan conclusiones con respecto a los temas principales.

- **Perspectiva teórica**

Se puede destacar que las grandes y complejas redes de proyectos se caracterizan por la colaboración de organizaciones heterogéneas y particulares. Además, se asocia al siguiente concepto:

“Si bien la mayoría de las contribuciones que involucran las relaciones de la SC en la literatura de gestión y comercialización se refieren a intercambios continuos en las relaciones comprador-proveedor a largo plazo (Claycomb y Frankwick, 2010), existe una falta de investigación sobre intercambios discontinuos en industrias basadas en proyectos como la industria de la construcción (Crespin-Mazet y Ghauri, 2007). Sin embargo, la gestión de las relaciones de la cadena de suministro es especialmente problemática en las industrias basadas en proyectos debido a: la discontinuidad de la demanda de proyectos, la singularidad de cada proyecto en términos técnicos, financieros y sociopolíticos, y la complejidad de cada proyecto en términos del número de actores involucrados” (Segerstedt & Olofsson, 2010)

Concluyendo en una carencia de una aplicación metodológica de los conceptos de SCM en cadenas discretas como en los proyectos

Se realizó un estudio bibliográfico de los últimos veinte años, donde se obtuvo un panorama de los diferentes autores y temas tratados. La perspectiva teórica muestra que la temática de referencia sobre la mejora del rendimiento de las cadenas de abastecimiento ha sido estudiada desde diferentes puntos de vista.

Esta rica bibliografía no muestra tendencias firmes hacia soluciones unificadas del problema. Sino se observa una gran dispersión y esfuerzos dispares para lograr el objetivo. En cuanto a los estudios que relacionen los rendimientos de cadenas de abastecimiento y los proyectos de esas cadenas hay escasa evidencia.

En la discusión se mencionó que en cuanto a los modelos predictivos hay distintas perspectivas, las cuales son muy interesantes y útiles. Pero en los modelos estudiados hay indicios de cómo se podría encarar la solución del modelo para este estudio. Pero, no se ha

encontrado modelos que relacionen la combinación de variables como se plantea en esta tesis.

- **Modelo**

En primer lugar, se debe remarcar la importancia del Marco de Referencia establecido el cual coloca en situación de contexto evolutivo de las IBP para poder desarrollar el modelo.

La conceptualización del modelo forma un papel primordial en desarrollo de la solución de la predicción. La síntesis de llevar un problema real a un modelo simplificado de esta realidad juega un papel de suma importancia.

Uno de los aspectos a destacar es que un proyecto es una confluencia de cadenas de abastecimiento a un sitio de producción. Además en la construcción cada tipología de SC tiene un papel distintivo, cada relación tiene una característica económica y social única, (Tennant & Fernie, 2014).

Una simplificación interesante es la de concebir esta situación como una red, conformada por la red interna y externa, acotando el problema a proveedores de primer nivel de diferentes regiones. En la realidad se produce una conformación de redes informales y escasas veces pasan a un estatus de formal. Por lo cual para cada proyecto se puede establecer que existe una red de abastecimiento del proyecto (PSN).

Dentro de esta red se identificaron los distintos actores y se los caracterizó. Se determinaron la variables dependientes e independientes a evaluar. Se detectó el modelo de negocio seguido.

A esta modelización conceptual era necesario representarla con valores de la realidad. Por lo cual se buscaron datos, esto mismos no se encuentran en abundancia. De la información recolectada de la bibliografía y de los resultados del cuestionario es que se puede diagnosticar la red de abastecimiento de los proyectos de construcción de la RCA.

- **Diagnóstico Proyectos de Construcción de la RCA**

Los bajos rendimientos de los proyectos de la RCA están determinados por fallas de planificación y por causas logísticas y de SC en segundo lugar. Estos datos coinciden con los trabajos de identificación de riesgos de países desarrollados y en vías de desarrollo, en los que

se observa la existencia de un conjunto de riesgos relacionados con las SC de los proyectos de construcción y su contexto. Esta información confirma la necesidad de medir el rendimiento de la logística y la SC de los proyectos de construcción y su relación con el rendimiento de los proyectos.

Gosling destaca la falta de datos en el sector industrial y de metodología para la obtención de los rendimientos. Un antecedente relevante es el trabajo de Thunberg que realiza el estudio de un proyecto en una ciudad de Suecia (análisis de flujo de materiales). Dentro de sus resultados se destaca la eficiencia de los proveedores de cumplimiento de pedidos perfectos (nivel de servicio), que es solo del 38 % muy por debajo de los estándares internacionales (Thunberg, 2013). Además, también mide el tiempo dedicado para recibir un pedido y su costo asociado. Estableciendo un costo y un tiempo de trabajo contributivo.

Según la forma de medición, del análisis realizado y para la Región de Cuyo Argentina se puede estimar que su rendimiento general es aproximadamente el 60 %. Las empresas basadas en proyectos tienen un rendimiento del 59 % y solo algunas empresas de la CSC superan los valores del 60 %, sin llegar a más del 70 % (F5-F9).

Uno de los resultados más importantes de esta parte del trabajo es la cuantificación de la relación entre el rendimiento de la logística y SC con respecto al rendimiento de los proyectos. Así, se identifica que en la RCA las pérdidas-desvío en costo en promedio es cercano al 19,5% (F6-F9) y en plazo del 44,5 %. De estas pérdidas parte son producidas por las ineficiencias de la logística y el SC. Relacionando los valores del rendimiento de los proyectos y de las pérdidas ocasionadas por las ineficiencias en logística y SC, se estiman que son aproximadamente en tiempo del 9,9 % y en costo del 4,2 %, siempre de los valores de la línea base del proyecto.

Con respecto a las propuestas de mejoras Gosling apoya el desarrollo de proveedores como una herramienta de la eficiencia, pero coloca sus reparos sobre la asociación estratégica. En este caso sus propuestas de mejoras son tendientes a: la comunicación, la asignación predefinida de materiales, la evaluación del rendimiento de los proveedores, la verificación y la notificación de las entregas, y la utilización del modelo SCOR (Thunberg, 2013). Los profesionales de la región coinciden mayoritariamente que las acciones que tiendan a mejorar

la logística y la SC son las principales a realizar. Además uno de los temas más estudiado en los últimos años es sobre prácticas colaborativas (Tapia et al., 2019).

También, se establece un marco de referencia para el estudio sistemático de las cadenas de abastecimiento de diferentes proyectos de construcción. Así se puede observar: un esquema simplificado de los actores, caracterización de influencias sectoriales y elementos a tener en cuenta para estimar rendimientos en proyectos, logística y SC.

Si bien las conclusiones de este trabajo están centradas en el estudio regional realizado en Argentina, se pueden establecer ciertos parámetros para considerar de una manera global el rendimiento de la CSC y su relación con los proyectos. Es decir, se plantean valores que pueden ser comparados con otro tipo de regiones o países.

- ***Modelo predictivo de LPI en función de PBI-PEA-Actividad económica***

Debido a la escasez de datos que se observa en el medio con respecto a la performance logística es que se planteó el desafío de generar un modelo predictivo. Este modelo debía contemplar datos que generalmente se mide en las distintas regiones del mundo. Estos valores son el PBI (PBG), PEA e importancia de actividades económicas, se pueden encontrar en la mayoría de las regiones del mundo.

Una vez detectado los valores de estas variables es que se procedió a correlacionarlos con el LPI. Se generó un modelo de regresiones lineales que otorga valores lo suficientemente confiable para los objetivos de la investigación. Con estas regresiones se puede estimar el valor de los niveles de servicio de los proveedores de una región.

- ***Modelo predictivo de rendimiento de proyectos***

En la generación de modelos predictivos se considera necesario tener en cuenta ciertos conceptos, para modelar la realidad.

La gestión clásica del PM exige una actualización ya que hoy a los proyectos se los considera sistemas complejos - un sistema compuesto de numerosos componentes interactivos (individuos, proyectos, equipos) donde el comportamiento agregado es no lineal. Además hay una reconceptualización de los proyectos como entidades dinámicas, inciertas y complejas compuestas de individuos con atributos (personas, organizaciones, etc.) y comportamientos

únicos (Pires & Vieira, 2019). Tal visión de la gestión de proyectos apoya el cambio en el campo; desde el enfoque clásico que enfatiza la optimización y agentes racionalistas a uno que considera cuestiones de complejidad, incertidumbre y contexto social y organizacional repensar la gestión de proyectos (RPM, *rethinking project management*) (Pires & Vieira, 2019).

Esta complejidad es más evidente en proyectos de Construcción grandes o megaproyectos y en aquellos que la localización varía de proyecto a proyecto. Dado que el número de actores aumenta y un gran porcentaje de las múltiples relaciones cliente- proveedor no son estables. Donde los conceptos de asociatividad, colaboración e integración son difícilmente aplicables. Además, en la cultura de la industria se observa generalmente relaciones competitivas.

En la actualidad las estimaciones de las variables básicas (costo y tiempo) de todo proyecto de Construcción en la RCA se realizan con valores medios. Los sistemas utilizados en general no son acompañados por un set de datos confiables para realizarlas o se realizan con cierta subjetividad de los juicios de expertos. Por lo cual, cuando se habla de simulaciones o cálculos sólo se debería tener en cuenta la precisión hasta dos dígitos significativos (Damjanovic & Reinschmidt, 2020).

El modelo desarrollado en esta tesis contiene un sustento matemático básico del cálculo de indicadores (CPI-SPI). Esto ayuda a comprender cómo es la influencia de la variación del NS de la PSN en el rendimiento del proyecto. El concepto fundamental de este modelo se basa en el supuesto de que el rendimiento del proyecto es afectado por la variación del NS de la red de abastecimiento. Los proyectos al presentar la complejidad mencionada, es necesario recurrir a técnicas de simulación para el cálculo de sus variables relevantes.

En primer lugar, esta complejidad viene dada por la cantidad de: actividades, recursos y proveedores intervinientes. A lo mencionado, a este modelo se le agrega la estimación de variables por medio de distribuciones probabilísticas proveniente de datos escasos. En primera instancia se recurrió a una herramienta clásica de simulación (método Monte Carlo) y a un software sencillo (hoja de cálculo) para poder comprender cuál era el comportamiento de las variables a analizar.

Este primer análisis, con un caso testigo, fue fundamental para obtener las conclusiones sobre criticidad de recursos y actividades y cómo es la variación del SPI y CPI en función del NS_{PSN} . El

modelo, dentro de las limitaciones, fue calibrado para que ofreciera resultados compatibles con la red de abastecimiento regional que se estaba modelando. Esta forma de modelar y simular lleva a comprobar el supuesto que a menor variabilidad del NS, se pueden obtener mejores rendimientos de los proyectos.

Para expresar los resultados se utilizaron herramientas que manejan los directores de proyectos como las Curvas S y los indicadores básicos de la técnica del Valor Ganado. Lo que le da una facilidad de comprensión haciendo más factible la transferencia al medio práctico del PM. Además, se pudo comparar qué sucedería si las variaciones de los NS de los proveedores cambiaban.

Posteriormente se realizaron un conjunto de comprobaciones para verificar los resultados del modelo (Método del segundo Momento y ABM). Las cuales mostraron datos satisfactorios. Se puede decir que el modelo es robusto para ser aplicado, bajo los supuestos realizados.

Dentro de los aportes más significativos de esta tesis está el gráfico índice de importancia en función de Z. Esta forma de expresar los resultados permite comparar un proyecto ejecutándose en diferentes PSN. Ofrece una medida de que tan conveniente es la respuesta de la PSN del proyecto en función de los desvíos estándar del NS_{PSN} , además el mismo gráfico incluye la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Las pendientes de las curvas se interpretan como la inestabilidad de la respuesta del PSN, a mayor pendiente mayor inestabilidad. Siguiendo esta línea de investigación se podría determinar cuál de las redes de abastecimientos estudiadas son más resilientes o fiables.

Por último, dentro del estudio explicativo se obtienen resultados alentadores con respecto a la simulación por medio de ABM y el simulado de agentes que evolucionan y mejoran la dispersión de sus NS. Esta evolución está asociada a los conceptos de madurez de las organizaciones. Está demostrado que mejorar la madurez de cualquier proceso técnico conduce a: la reducción en la variabilidad inherente al proceso y la mejora en el rendimiento medio del proceso (Cooke-Davies & Arzymanow, 2003).

Esta última línea de investigación ayudaría a comprender cómo mediante el aprendizaje simulado se pueden obtener mejores resultados de proyectos a aquellos planificados a priori.

Si bien la variable calidad ha sido considerada constante en este estudio, la dispersión de los NS de los proveedores está asociado a la afectación de la calidad. A continuación, se observa un resumen de lo planteado en la tesis figura 5-7.

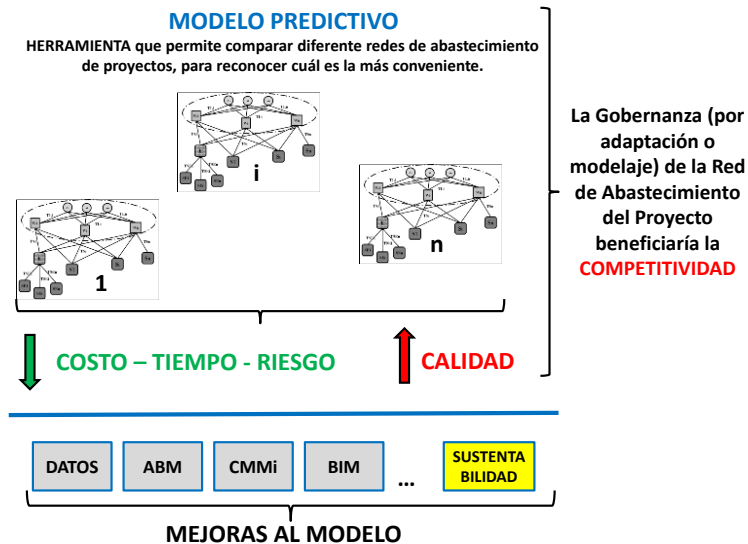


Figura 7 - 4 Resumen de conclusiones

Con respecto a la gobernanza en la bibliografía se pueden definir cuatro categorías: económica, producción (gestión de la SC), organización (redes interempresariales) y social (comunicación y compromiso en la SC) (Vrijhoef, 2011). Las tres últimas categorías están relacionadas con la SC. Pryke afirma que a través de un análisis de redes sociales (SCN) se puede realizar la gobernanza de los proyectos de construcción para mejorar el rendimiento de los proyectos (Pryke, 2004) (Pryke, 2005).

Pero estos conceptos se ven influenciados por la situación de que en la industria de la construcción es difícil crear una red de organizaciones que confíen y tengan valores compartidos (Fulford & Standing, 2014).

Por lo cual el que logre una gobernanza más eficiente de la red a través de: la adaptación a la red existente o la posibilidad de modelar la red específica; tendrá una ventaja competitiva con respecto a los otros competidores. El modelo predictivo es una herramienta que ayuda a tomar decisiones sobre el estilo de gobernanza a adoptar.

Esta mejora de la gobernanza de la red traerá beneficios asociados a los integrantes de la red como a las regiones y naciones a las que pertenecen.

Esta tesis sienta bases en la cuantificación y el comportamiento del estudio de la relación entre la variación del rendimiento de los proyectos con la correspondiente variación del nivel de respuesta de la red abastecimiento del proyecto. Además de proponer herramientas sencillas de comparación de comportamiento de los proyectos y redes estudiados. Proyectos que se clasifican como de: construcción, sitio variable, gran cantidad de recursos y ubicados en la Región de Cuyo Argentina.

La metodología utilizada en la tesis es completamente replicable a otras regiones, con lo cual se podrá constatar, validar y extrapolar el uso del modelo propuesto.

7.4.2 Aportes

Se consideran como aportes fundamentales de esta tesis los siguientes:

- Marco de referencia de las IBP
- Modelo conceptual de redes de abastecimiento para proyecto de construcción.
- Diagnóstico de la red de abastecimiento de los proyectos de construcción en la RCA.
- Estimación de distribuciones de NS para los distintos recursos en la RCA
- Modelo predictivo de rendimiento logístico en función de LPI-PBI-PEA-Actividades Económicas.
- Modelo predictivo de SPI y CPI en función de la variación del NS de la red de abastecimiento del proyecto.
- Herramienta de comparación de redes de abastecimiento más convenientes para ejecutar proyectos.
- Evidencia de mejora por medio de evolución-aprendizaje simulado.

7.4.3 Líneas de Investigación Futuras

Los modelos desarrollados en esta tesis tienen sus limitaciones en función de los sesgos y riesgos que poseen los datos que se han tomado para diseñarlos. Planteándose las siguientes investigaciones:

- Ampliación de la cantidad de respuestas del cuestionario de la RCA para mejorar los resultados del diagnóstico.
- Replicar el mismo cuestionario en otras regiones para poder realizar comparaciones y

poder validar o ajustar los modelos.

- Aplicación de estas herramientas a proyectos a ejecutarse. Tal que se pueda intervenir desde el momento de planificación para obtener los datos y aplicar los modelos durante se ejecuta el proyecto (proyectos grandes a megaproyectos).

Otra línea de investigación es la aplicación de los ABM de forma más amplia en la temática de referencia. El objetivo es lograr una discretización de recursos y sus relaciones cliente-proveedor, tal que se pueda simular el resultado de los proyectos por medio de agentes que interactúen. Continuando con los conceptos de esta tesis, pero logrando mejorar en los datos, una discretización más fina y la interacción y evolución de los agentes.

Por último, cabe mencionar el desarrollo de líneas de investigación que combinen tecnologías (BIM), madurez (CMMI), sustentabilidad y gobernanza de los proyectos.

7.4.4 Posibilidades de transferencia al ecosistema local

La tesis está orientada a la Región de Cuyo Argentina con aplicaciones directamente a Mendoza por lo cual la transferencia al ecosistema local es completamente posible. A partir de los aportes principales de esta investigación la transferencia puede ser de:

- Conocimiento más específico de la red de abastecimiento de los proyectos, a través del diagnóstico.
- Concientización sobre cómo la disminución de la dispersión de los NS de los proveedores repercute sobre el rendimiento de los proyectos.
- Capacitación sobre modelado y adaptación a redes de abastecimientos.

BIBLIOGRAFÍA

- Adriaanse, A., Voordijk, H., & Dewulf, G. (2010). The use of interorganisational ICT in United States construction projects. *Automation in Construction*, 19(1), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.09.004>
- Aguria, Muhammad, & Wang. (2004). Risk management framework for construction project in developing countries Researcher & Facilitator: “Productivity and Training Road-map” View project Capital Structure Optimization for Public-Private Partnership Projects View project. *Taylor & Francis*, 22(3), 237–252. <https://doi.org/10.1080/0144619032000124689>
- Akintoye, A., McIntosh, G., & Fitzgerald, E. (2000). A survey of supply chain collaboration and management in the UK construction industry. *European Journal of Purchasing and Supply Management*. Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969701200000125?casa_token=OWPEuzQmKNcAAA:AA:Js_CZl6gWTzCtbJQkrKLRMujDkmTejH-FD2S9sybiHe-fSCVnyMGwGvWh7llivaOfhHW1YIdOEK
- Akintoye, & MacLeod. (1997). Risk analysis and management in construction. *International Journal of Project Management*.
- Al-Zahrani, J. (2013). *The Impact of Contractors’ Attributes On Construction Project Success*. University of Manchester (United Kingdom).
- Ala-Risku, T., & Kärkkäinen, M. (2006). Material delivery problems in construction projects: A possible solution. *International Journal of Production Economics*, 104(1), 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.12.027>
- Alarcon, L. F., & Maturana, S. (2008). QUANTIFYING THE BENEFITS OF USING E-MARKETPLACE IN CONSTRUCTION COMPANIES Lean & BIM Construction Management View project Unmanned Aerial Systems (UAS) for Construction Safety Applications View project. *Researchgate.Net*. <https://doi.org/10.1201/9781420047462.ch17>
- Alfalla-Luque, R., Medina-Lopez, C., & Schrage, H. (2013). A study of supply chain integration in the aeronautics sector. *Production Planning and Control*, 24(8–9), 769–784. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.666868>
- Aloini, D., Dulmin, R., Mininno, V., & Ponticelli, S. (2015). Key antecedents and practices for Supply Chain Management adoption in project contexts. *International Journal of Project - ElsevierElsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786315000678?casa_token=msbNSC9TullAAAAA:OjRaYPaiG4g4VnKerJ91eGDRvBMLvG-PpjZK-Q15DUaJ2jMdHqE-NIMQgMLcW-GZR2UvaSc0tEY
- Alzahrani, J. I., & Emsley, M. W. (2013). The impact of contractors’ attributes on construction project success: A post construction evaluation. *International Journal of Project Management*, 31(2), 313–322. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.06.006>
- Arashpour, M., Abbasi, B., Arashpour, M., Reza Hosseini, M., & Yang, R. (2017). Integrated management of on-site, coordination and off-site uncertainty: Theorizing risk analysis within a hybrid project setting. *International Journal of Project Management*, 35(4), 647–655. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.016>
- Arashpour, M., Wakefield, R., Blismas, N., & Minas, J. (2015). Optimization of process integration and multi-skilled resource utilization in off-site construction. *Automation in Construction*, 50(C), 72–80. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.12.002>
- Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., & O’Reilly, K. (2011). Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice. *Automation in Construction*, 20(2), 189–195. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.016>
- Arbulu, R. J., Tommelein, I. D., Walsh, K. D., & Hershauer, J. C. (2003). Value stream analysis of a re-engineered construction supply chain. *Building Research and Information*, 31(2), 161–171. <https://doi.org/10.1080/09613210301993>
- Arce Manrique, S. (2009). *Identificación de los principales problemas en la logística de abastecimiento de las empresas constructoras bogotanas y propuesta de mejoras* [Pontificia Universidad Javeriana (Colombia)]. <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/9110>
- Arriola Mairén, G. G. (2010). *Qué son y cómo se clasifican los proyectos*.
- Arvis, J.-F., Ojala, L., Wiederer, C., Shepherd, B., Raj, A., Dairabayeva, K., & Kiiski, T. (2018). Connecting to Compete 2018. In *Connecting to Compete 2018*. World Bank. <https://doi.org/10.1596/29971>
- Asbjørnslett, B. E. (2003). Project Supply Chain Management From Agile to Lean. In 271. Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/240611>

- Avila Ramírez, A. G. (2017). *La gestión logística y su influencia en el valor ganado en los proyectos de edificación en la selva peruana de una empresa constructora de Lima Metropolitana*.
<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1592>
- Bales, R. R., Maull, R. S., & Radnor, Z. (2004). The development of supply chain management within the aerospace manufacturing sector. In *Supply Chain Management* (Vol. 9, Issue 3, pp. 250–255). Emerald Group Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/13598540410544944>
- Ballou, R. H. (2004). *Logística. Administración de la Cadena de Suministro* (5th ed.). Pearson. Prentice Hall.
- Banaitiene, N., & Banaitis, A. (2012). Risk management in construction projects. *Risk Management—Current Issues and Challenges*. In *Tech*.
https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=6d2dDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA429&dq=Risk+management+in+construction+projects.>+Risk+Management+Current+Issues+and+Challenges.+InTech,+2012.&ots=8RuO6DGOPY&sig=i1n4nt1sIC8hEU6jFMM_DxmIK5M
- Bankvall, L., Bygballe, L. E., Dubois, A., & Jahre, M. (2010). Interdependence in supply chains and projects in construction. *Supply Chain Management*, 15(5), 385–393. <https://doi.org/10.1108/13598541011068314>
- Bemelmans, J., Voordijk, H., Vos, B., & Buter, J. (2012). Assessing buyer-supplier relationship management: Multiple case-study in the Dutch construction industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(1), 163–176. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000418](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000418)
- Bing, L., Akintoye, A., Edwards, P., & Hardcastle, C. I. (2005). The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. *International Journal of Project Management -Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786304000493?casa_token=hMjvuWJ_uHAAAAAA:b-za1K7HnCbUtHbBhGMDAuuzTq4JL3lnu4-R_IAAfyftBoemAFSBCFCjAyQKiUYJzt8NZ-1s4OYY
- Bîzoi, A.-C., & Sipos, C. (2014). *LOGISTICS PERFORMANCE AND ECONOMIC DEVELOPMENT - A COMPARISON WITHIN THE EUROPEAN UNION*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1789.2163>
- Bowen, P. A., Edwards, P. J., & Cattell, K. (2012). Corruption in the South African construction industry: A thematic analysis of verbatim comments from survey participants. *Construction Management and Economics*, 30(10), 885–901. <https://doi.org/10.1080/01446193.2012.711909>
- Briscoe, Dainty, Millett, & Neale. (2003). Client-led strategies for construction supply chain improvement. *Construction Management and Economics*, 22:2, 193-201.
- Briscoe, G., & Dainty, A. (2005). Construction supply chain integration: An elusive goal? *Supply Chain Management*, 10(4), 319–326. <https://doi.org/10.1108/13598540510612794>
- Bygballe, L., Jahre, M., & Swärd, A. (2010). Partnering relationships in construction: A literature review. *Journal of Purchasing and Supply Chain Management Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409210000634?casa_token=oj6cInpEYRUAAAAA:JHTGXhidbnIMEsexcuLMf25Sy45V68xXQYmvKciCz0xcFRHaNTVvjomURJAmzW0KIM8WCxjaHXM
- CAMARCO. (2018). *Gestión y Productividad en Obra Encuesta sobre productividad y prácticas Lean en la industria de la Construcción en Argentina*. Cámara Argentina de la Construcción-Escuela de Gestión.
- Campuzano, F., & Mula, J. (2011). *Supply chain simulation: A system dynamics approach for improving performance*.
https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=wLM5xDvWZqMC&oi=fnd&pg=PP3&dq=supply+chain+simulation+campuzano&ots=_0m1AFDK6x&sig=yPZUeXaU9kdvAr-2CrmcF7j6rj0
- Cantú, A. D., & Moreno, J. L. (2012). Cómo lograr mejor confiabilidad en la planificación de los proyectos. In *fi.mdp.edu.ar*. www.riipro.org/journal
- Cantú, A., Moreno, J., Gallina, M., & García, G. (2009). Productividad real en obras civiles. Análisis de un caso. In *cetarq.com*. <https://cetarq.com/wp-content/uploads/2016/05/productividad.pdf>
- Capó-Vicedo, J., Mula, J., & Capó, J. (2011). A social network-based organizational model for improving knowledge management in supply chains. *Supply Chain Management*, 16(4), 284–293.
<https://doi.org/10.1108/13598541111139099>
- Capó Vicedo, J., Expósito Langa, M., & Tomás Miquel, J. V. (2005). La importancia de la gestión del conocimiento en la cadena de suministro de la construcción. In *IX Congreso de Ingeniería de Organización* (p. 112).
- Carbonell Ureña, J. (2012). Propuesta de un modelo de integración para la gestión de la cadena de suministro en el sector de la construcción. (*Doctoral Dissertation, Universitat Politècnica de València*).
- Çelebi, Ü., Civelek, M. E., & Çemberci, M. (2015). *The Mediator Effect of Foreign Direct Investments on the*

- Relation between Logistics Performance and Economic Growth*.
<https://papers.ssrn.com/abstract=3338308>
- Çemberci, M., Civelek, M. E., & Canbolat, N. (2015). The Moderator Effect of Global Competitiveness Index on Dimensions of Logistics Performance Index. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 1514–1524. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.453>
- Chan, D. W. M., Chan, A. P. C., Lam, P. T. I., Yeung, J. F. Y., & Chan, J. H. L. (2011). Risk ranking and analysis in target cost contracts: Empirical evidence from the construction industry. *International Journal of Project Management*, 29(6), 751–763. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.08.003>
- Chen, Y., & Kamara, J. M. (2011). A framework for using mobile computing for information management on construction sites. *Automation in Construction*, 20(7), 776–788. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.01.002>
- Cheng, J. C. P., Law, K. H., Bjornsson, H., Jones, A., & Sriram, R. (2010). A service oriented framework for construction supply chain integration. *Automation in Construction*, 19(2), 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.10.003>
- Childerhouse, P., Lewis, J., Naim, M., & Towill, D. R. (2003). Re-engineering a construction supply chain: A material flow control approach. *Supply Chain Management*, 8(4), 395–406. <https://doi.org/10.1108/13598540310490143>
- Chong, H. Y., Wong, J. S., & Wang, X. (2014). An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment. *Automation in Construction*, 44, 152–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.010>
- Chung, C. A. (2004). *Simulation Modeling Handbook: a practical approach*. CRC Press LLC.
- Civelek, M. E., Uca, N., & Çemberci, M. (2015). *The Mediator Effect of Logistics Performance Index on the Relation between Global Competitiveness Index and Gross Domestic*. European Scientific Journal May.
- Cooke-Davies, T., & Arzymanow, A. (2003). The maturity of project management in different industries: An investigation into variations between project management models. *International Journal of Project Management- Elsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786302000844?casa_token=54sKEJQACgEAAAAA:9cxWjRZfGafzPIFcg2DuRz_JhpsJqEuC0mdO5GU3mFiLwN5oMTCywsY1TYRfpdFEsdb2ne37jg
- Cueto, E., & Romero, B. (2004). *La logística de aprovisionamientos para la integración de la cadena de suministros*.
- Dainty, A. R. J., Briscoe, G. H., & Millett, S. J. (2001). Subcontractor perspectives on supply chain alliances. *Construction Management and Economics*, 19(8), 841–848. <https://doi.org/10.1080/01446190110089727>
- Damnjanovic, I., & Reinschmidt, K. (2020). *Data Analytics for Engineering and Construction Project Risk Management*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-14251-3>
- Davis, P., & Love, P. (2011). Alliance contracting: Adding value through relationship development. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 18(5), 444–461. <https://doi.org/10.1108/09699981111165167>
- Demiralp, G., Guven, G., & Ergen, E. (2012). Analyzing the benefits of RFID technology for cost sharing in construction supply chains: A case study on prefabricated precast components. *Automation in Construction*, 24, 120–129. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.005>
- Denicol, J., Davies, A., & Krystallis, I. (2020). What Are the Causes and Cures of Poor Megaproject Performance? A Systematic Literature Review and Research Agenda. *Project Management Journal*, 51(3), 328–345. <https://doi.org/10.1177/8756972819896113>
- Du, J., El-Gafy, M., & Lama, P. (2016). A Cloud-based shareable library of cooperative behaviors for Agent Based Modeling in construction. *Automation in Construction*, 62, 89–100. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.11.005>
- Du, J., Zou, Z., Shi, Y., & Zhao, D. (2018). Zero latency: Real-time synchronization of BIM data in virtual reality for collaborative decision-making. *Automation in Construction*, 85, 51–64. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.009>
- Du, L., Tang, W., Liu, C., Wang, S., & Wang, T. (2015). Enhancing engineer–procure–construct project performance by partnering in international markets: Perspective from Chinese construction companies. *International Journal of Project Management*.
- Eckhardt, R. (1987). STAN ULAM, JOHN VON NEUMANN, and the MONTE CARLO METHOD. In *Los Alamos Science*, 15(30), 131-136. http://library.sciencemadness.org/lanl1_a/lib-www/pubs/00326867.pdf

- El-Sayegh, S. M. (2008). Risk assessment and allocation in the UAE construction industry. *International Journal of Project Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026378630700110X?casa_token=YpzJBP_1RsYAAAAA:qGII10f_BkhOeD0THLjOGiHZnnGkh8ZHeTjMZaFCM86K-J5o1G0Va8-tEmWFkleMYOoFLsZ7mk0
- Eriksson. (2010). Improving construction supply chain collaboration and performance: A lean construction pilot project Inter-organizational collaboration between contractors in urban development projects View project Procurement strategies for sustainable development in th. *Emerald.Com*, 15(5), 394–403.
<https://doi.org/10.1108/13598541011068323>
- Eriksson. (2015a). Partnering in engineering projects: Four dimensions of supply chain integration. *Journal of Purchasing and Supply Management*.
- Eriksson. (2015b). Partnering in engineering projects: Four dimensions of supply chain integration. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(1), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2014.08.003>
- Eriksson, Atkin, & Nilsson. (2009). Overcoming barriers to partnering through cooperative procurement procedures. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 16(6), 598–611.
<https://doi.org/10.1108/09699980911002593>
- Eriksson, P. E. (2013). Exploration and exploitation in project-based organizations: Development and diffusion of knowledge at different organizational levels in construction companies. *International Journal of Project Management*, 31(3), 333–341. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.07.005>
- Eriksson, P. E., & Westerberg, M. (2011). Effects of cooperative procurement procedures on construction project performance: A conceptual framework. *International Journal of Project Management*, 29(2), 197–208. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2010.01.003>
- Eriksson, TorBjörn, & Atkin. (2008). Client perceptions of barriers to partnering Managing open process innovation: Exploring collaboration between equipment supplier and process industry firms View project Inter-organizational collaboration between contractors in urban development projects. *Engineering, Construction and Architectural Management Vol. 15 No. 6*, 15(6), 527–539.
<https://doi.org/10.1108/09699980810916979>
- Eziyi O Ibem, R. K., & Lecturer, S. (2015). e-Procurement use in the South African construction industry. In *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* (Vol. 20). <http://www.itcon.org/2015/23>
- Fang, Y., & Ng, S. T. (2011). Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. *Construction Innovation*, 11(3), 259–281. <https://doi.org/10.1108/14714171111149007>
- Farahani, R., Asgari, N., & Davarzani, H. (2009). *Supply chain and logistics in national, international and governmental environment: concepts and models*.
<https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=iRuZ9tkcNEoC&oi=fnd&pg=PR4&dq=Supply+Chain+and+Logistics+in+National,+International+and+Governmental+Environment+Concepts+and+Models&ots=mDr6gnNo1R&sig=tekXkawzusGvWtvMQHg5UzXIPzo>
- Fearne, A., & Fowler, N. (2006). Efficiency versus effectiveness in construction supply chains: The dangers of “lean” thinking in isolation. *Supply Chain Management: An International Journal*, 11(4), 283–287.
<https://doi.org/10.1108/13598540610671725>
- Fernie, S. (2005). Making sense of supply chain management: A comparative study of aerospace and construction. *Taylor & Francis*, 23(6), 579–593. <https://doi.org/10.1080/01446190500126882>
- Fernie, S., Root, D., & Thorpe, T. (2000). Supply Chain Management-Theoretical Constructs for Construction. In *Santiago, Chile*, 541-556.
- Fernie, S., & Tennant, S. (2013). The non-adoption of supply chain management. *Construction Management and Economics*, 31(10), 1038–1058. <https://doi.org/10.1080/01446193.2013.830186>
- Fernie, S., & Thorpe, A. (2007). Exploring change in construction: Supply chain management. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 14(4), 319–333.
<https://doi.org/10.1108/09699980710760649>
- Forgues, D., & Koskela, L. J. (2008). *Can procurement affect design performance? - University of Salford Institutional Repository*. *Journal of Construction Procurement*, 14(2), 130-141.
<http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9363/>
- Frigant, & Talbot. (2001). *Proximités et logique modulaire dans l’automobile et l’aéronautique vers une convergence des modèles d’approvisionnement*. IIIèmes Journées de la Proximité “ Nouvelles Croissances et Territoires.
- Frigant, V., & Talbot, D. (2005). Technological determinism and modularity: Lessons from a comparison

- between aircraft and auto industries in Europe. *Industry and Innovation*, 12(3), 337–355.
<https://doi.org/10.1080/13662710500195934>
- Fulford, R., & Standing, C. (2014). Construction industry productivity and the potential for collaborative practice. *International Journal of Project Management*, 32(2), 315–326.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.05.007>
- Gambino, A. A. (1999). *Logística I* (1era ed.). Instituto Universitario Aeronáutico.
- Ghio Castillo, V. A. (1998). *Guía para la Innovación Tecnológica en la Construcción*. Universidad Católica de Chile.
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. (2005). *Simulation for the social scientist*. McGraw-Hill Education (UK).
- Gosling, Hewlett, & Naim. (2011). A framework for categorising engineer-to-order construction projects. *Association of Researchers in Construction Management (ARCOM)*.
- Gosling, J., & Naim, M. M.-. (2009). Engineer-to-order supply chain management: A literature review and research agenda. *International Journal of Production Economics Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309002394?casa_token=dkJWEw2ZU5MAA AAA:W46eAJLt1hDJ6zWnaZPpnuAxm7tonKNmbVsh3xAxhTOJhOom3W7RJTGotxtkOQkmEPg0s7uRDHM
- Gosling, J., Naim, M., Towill, D., Abouarghoub, W., & Moone, B. (2015). Supplier development initiatives and their impact on the consistency of project performance. *Construction Management and Economics*, 33(5–6), 390–403. <https://doi.org/10.1080/01446193.2015.1028956>
- Gosling, Naim, & Fearn. (2007). Defining the lean and agile characteristics of engineer-to-order construction projects. *Conference-Construction Management and Economics: "Past, Present and Future (Vol. 1, Pp. 773-785)*.
- Gosling, Naim, & Towill. (2013a). Identifying and Categorizing the Sources of Uncertainty in Construction Supply Chains. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139(1), 102–110.
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000574)
- Gosling, Naim, & Towill. (2013b). A supply chain flexibility framework for engineer-to-order systems. *Production Planning and Control*, 24(7), 552–566. <https://doi.org/10.1080/09537287.2012.659843>
- Gosling, Towill, Naim, Dainty, & Andrew. (2015). Principles for the design and operation of engineer-to-order supply chains in the construction sector. *Production Planning and Control*, 26(3), 203–218.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2014.880816>
- Grilo, A., & Jardim-Goncalves, R. (2011). Challenging electronic procurement in the AEC sector: A BIM-based integrated perspective. *Automation in Construction*, 20(2), 107–114.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.09.008>
- Guérin, F., & Brun, D. (2014). La logistique: ses métiers, ses enjeux, son avenir. *Ed. EMS Management & Société*.
- Guner, S., & Coskun, E. (2012). COMPARISON OF IMPACTS OF ECONOMIC AND SOCIAL FACTORS ON COUNTRIES' LOGISTICS PERFORMANCES: A STUDY WITH 26 OECD COUNTRIES. *Research in Logistics & Production*, 2(4), 329–343.
- Hadaya, P., & Pellerin, R. (2010). Determinants of construction companies' use of web-based interorganizational information systems. *Supply Chain Management*, 15(5), 371–384.
<https://doi.org/10.1108/13598541011068305>
- Hatmoko, J. U. D., & Scott, S. (2010). Simulating the impact of supply chain management practice on the performance of medium-sized building projects. *Construction Management and Economics*, 28(1), 35–49.
<https://doi.org/10.1080/01446190903365632>
- Hernández Sampieri, R., Collado, C., & Lucio, P. (2014). Metodología de la Investigación. *México: Mc Graw Hill/Interamericana. 6ta Edición*.
- Hicks, C., & McGovern, T. (2000). Supply chain management: A strategic issue in engineer to order manufacturing. *International Journal of Production Elsevier*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527399000262?casa_token=xrVm3xZU3_wAAA AA:SNkfAmaackBl3YlpPPsxvFgMzCNMOI_9I4Wh2pbdABhVHNaa4VtDUD_utWiiULOC2YK1vVBdJmc
- Hinkka, V., & Tätilä, J. (2013). RFID tracking implementation model for the technical trade and construction supply chains. *Automation in Construction*, 35, 405–414. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.024>
- Hong-Minh, S. M., Barker, R., & Naim, M. M. (2001). Identifying supply chain solutions in the UK house building sector. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(1), 49–59.
[https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00009-5)
- Humphreys, P., Matthews, J., & Kumaraswamy, M. (2003). Pre-construction project partnering: From

- adversarial to collaborative relationships. *Supply Chain Management*, 8(2), 166–178.
<https://doi.org/10.1108/13598540310468760>
- Husejnagić, D., & Sluga, A. (2015). A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the Engineer-To-Order environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, .
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-6798-7>
- Ibem, E. O., & Laryea, S. (2014). Survey of digital technologies in procurement of construction projects. In *Automation in Construction* (Vol. 46, pp. 11–21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.07.003>
- Ikonen, J., Professor, A., Knutas, A., Hämäläinen, H., Ihonen, M., Porras, J., & Kallonen, T. (2013). Use of embedded RFID tags in concrete element supply chains. In *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)* (Vol. 18). <http://www.itcon.org/2013/7>
- Iqbal, S., Choudhry, R. M., Holschemacher, K., Ali, A., & Tamošaitienė E, J. (2015). Risk Management in Construction Projects. *Taylor & Francis*, 21(1), 65–78. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.994582>
- Irizarry, J., Karan, E. P., & Jalaei, F. (2013). Integrating BIM and GIS to improve the visual monitoring of construction supply chain management. *Automation in Construction*, 31, 241–254.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.12.005>
- ISO. (2012). *ISO 21500*.
- Izquierdo, L. R., Galán, J. M., Santos, J. I., & Del Olmo, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Las Ciencias Sociales*, (16), 85-112.
- Jefferies, M., Brewer, G. J., & Gajendran, T. (2014). Using a case study approach to identify critical success factors for alliance contracting. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 21(5), 465–480. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2012-0007>
- Jhawar, A., Garg, S. K., & Khera, S. N. (2014). Analysis of the skilled work force effect on the logistics performance index-case study from India. *Logistics Research*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1007/s12159-014-0117-9>
- Joslin, R., & Müller, R. (2015). Relationships between a project management methodology and project success in different project governance contexts. *International Journal of Project Management*.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786315000551?casa_token=2hgEi8wAl24AAAAA:ManqTnICUNYqHnP4klQBLN24uWGKXC9ZUZ20TA0NOfG7vOlemNxsT7Gc-Db3IMPo0voaN7h9dE
- Ke, H., Cui, Z., Govindan, K., & Zavadskas, E. K. (2015). The impact of contractual governance and trust on EPC projects in construction supply chain performance. *Engineering Economics*, 26(4), 349–363.
<https://doi.org/10.5755/j01.ee.26.4.9843>
- Kerzner, H. (2015). *Project management 2.0: leveraging tools, distributed collaboration, and metrics for project success*.
<https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=6Ny6BQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA33&dq=Project+Management+2.0+kerzner+wiley&ots=MFOT282HG8&sig=w8NRwXfRRXdG4lguZ-WG75brN5k>
- Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*.
https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=xIASDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR19&dq=kerzner&ots=Xb9o_SN3vU&sig=6252T3-KrRx1lB14j8blImoYeTs
- Khalfan, M. A., Kashyap, M., Li, X., & Abbott, C. (2010). Knowledge management in construction supply chain integration. *International Journal of Networking and Virtual Organisations*, 7(2–3), 207–221.
<https://doi.org/10.1504/ijnvo.2010.031218>
- Khan, S. A. R., Qianli, D., SongBo, W., Zaman, K., & Zhang, Y. (2017). Environmental logistics performance indicators affecting per capita income and sectoral growth: evidence from a panel of selected global ranked logistics countries. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(2), 1518–1531.
<https://doi.org/10.1007/s11356-016-7916-2>
- Kim, C., Park, T., Lim, H., & Kim, H. (2013). On-site construction management using mobile computing technology. *Automation in Construction*, 35, 415–423. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.05.027>
- Kong, C. W., Li, H. r., & Love, P. E. D. (2003). An e-commerce system for construction material procurement. *Construction Innovation*, 1(1), 43–54. <https://doi.org/10.1191/147141701701571607>
- Koskela. (2002). The theory of project management: explanation to novel methods The nature of knowledge View project Avaliação de Programas de Melhoria Contínua em Projetos de Infraestrutura Rodoviária Regional View project. In *researchgate.net*. <https://www.researchgate.net/publication/228918258>
- Koskela, L., & Howell, G. (2002). The underlying theory of project management is obsolete. In

- eprints.epwp.eprints-hosting.org. <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/9400/>
- Kothman, I., & Faber, N. (2016). How 3D printing technology changes the rules of the game Insights from the construction sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 27(7), 932–943. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2016-0010>
- Kumaraswamy, M., Palaneeswaran, E., & Humphreys, P. (2000). Selection matters - In construction supply chain optimisation. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 30(7), 661–680. <https://doi.org/10.1108/09600030010346431>
- Laan, A., Noorderhaven, N., & Voordijk, H. (2011). Building trust in construction partnering projects: An exploratory case-study. *Journal of Purchasing & Supply Management* 17 98–108 Elsevier. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1478409210000841?casa_token=Tdnqkg3FUQkAAA AA:2QjhOpvsp91CSOTIAGx17tGAmJmhupr2i207GCgKgKPACmxUU-cZgVKfH13YaSxsgHAOKB_WGWM
- Lam, K. C., Tao, R., & Lam, M. C. K. (2010). A material supplier selection model for property developers using Fuzzy Principal Component Analysis. *Automation in Construction*, 19(5), 608–618. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2010.02.007>
- Lawshe, C. H. (1975). A quantitative approach to content validity. In *caepnet.org* (Vol. 28). <http://caepnet.org/~media/Files/caep/knowledge-center/lawshe-content-validity.pdf>
- Leach, L. (2000). Critical Chain Project Management. *Artech House, Inc. - Boston-London*.
- Lee, S., Han, S., & Peña-Mora, F. (2009). Integrating Construction Operation and Context in Large-Scale Construction Using Hybrid Computer Simulation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 23(2), 75–83. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0887-3801\(2009\)23:2\(75\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0887-3801(2009)23:2(75))
- Lee, Song, J. H., Oh, K. S., & Gu, N. (2013). Information lifecycle management with RFID for material control on construction sites. *Advanced Engineering Informatics*, 27(1), 108–119. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.11.004>
- Lester, A. (2014). *Project-management-planning-and-control* (6th ed.). Elsevier Ltd.
- Levitt, R. E. (2011). Towards project management 2.0. *Article in Engineering Project Organization Journal*, 1(3), 197–210. <https://doi.org/10.1080/21573727.2011.609558>
- Li, Xue, F., Li, X., Hong, J., & Shen, G. Q. (2018). An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. *Automation in Construction*, 89, 146–161. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.01.001>
- Liang, X., Shen, G. Q., & Bu, S. (2016). Multiagent Systems in Construction: A Ten-Year Review. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 30(6), 04016016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000574](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000574)
- London, K., & Singh, V. (2013). Integrated construction supply chain design and delivery solutions. *Architectural Engineering and Design Management*, 9(3), 135–157. <https://doi.org/10.1080/17452007.2012.684451>
- Lu, & Olofsson, T. (2014). Building information modeling and discrete event simulation: Towards an integrated framework. *Automation in Construction*, 44, 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.001>
- Lu, P., Guo, S., Qian, L., He, P., & Xu, X. (2015). The effectiveness of contractual and relational governances in construction projects in China. *International Journal of Project Management*, 33(1), 212–222. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.03.004>
- Majrouhi Sardroud, J. (2012). Influence of RFID technology on automated management of construction materials and components. *Scientia Iranica*, 19(3), 381–392. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2012.02.023>
- Manu, E., Ankrah, N., Chinyio, E., & Proverbs, D. (2015). Trust influencing factors in main contractor and subcontractor relationships during projects. *International Journal of Project Management*, 33(7), 1495–1508. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.06.006>
- Maturana, S., Alarcón, L. F., Gazmuri, P., & Vrsalovic, M. (2007). On-Site Subcontractor Evaluation Method Based on Lean Principles and Partnering Practices. *Journal of Management in Engineering*, 23(2), 67–74. <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290742-597X%282007%2923%3A2%2867%29>
- Mello, M. H., Gosling, J., Naim, M. M., Strandhagen, J. O., & Brett, P. O. (2017). Improving coordination in an engineer-to-order supply chain using a soft systems approach. *Production Planning and Control*, 28(2), 89–107. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1233471>
- Mello, M. H., Strandhagen, J. O., & Alfnes, E. (2015). Analyzing the factors affecting coordination in engineer-to-order supply chain. *International Journal of Operations and Production Management*, 35(7), 1005–1031. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2013-0545>
- Meng. (2010a). Assessment framework for construction supply chain relationships: Development and evaluation. *International Journal of Project Management- Elsevier*.

- Meng. (2010b). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management Elsevier*.
- Meng, Sun, & Jones. (2011). Maturity Model for Supply Chain Relationships in Construction. *Journal of Management in Engineering*, 27(2), 97–105. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000035](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000035)
- Mesa Prieto, R. (1995). La formación administrativa apoyada en juegos gerenciales. *Revista Universidad EAFIT*, 31(98), 43-57. <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/16496>
- Min, J. U., & Bjornsson, H. C. (2008). Agent-Based Construction Supply Chain Simulator (CS2) for Measuring the Value of Real-Time Information Sharing in Construction. *Journal of Management in Engineering*, 24(4), 245–254. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2008\)24:4\(245\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2008)24:4(245))
- Mishra, U. S., Bhusan, B., Siksha, M., & Anusandhan, O. (2017). *Performance management in construction supply chain: Review, implication, and direction for future research*. <https://www.researchgate.net/publication/319302888>
- Missonier, S., & Loufrani-Fedida, S. (2014). Stakeholder analysis and engagement in projects: From stakeholder relational perspective to stakeholder relational ontology. *International Journal of Project Management*, 32(7), 1108–1122. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.02.010>
- Mohammad Hasanzadeh, S., Hosseinalipour, M., & Hafezi, M. (2014). Collaborative procurement in construction projects performance measures, case study: partnering in Iranian construction industry. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 119, 811-818. Elsevier.
- Monnoyer, M. C., & Zuliani, J. M. (2007). The decentralisation of airbus production and services. *Service Industries Journal*, 27(3), 251–262. <https://doi.org/10.1080/02642060701207056>
- Monsalve, S. (2003). John Nash y la teoría de juegos. In *Universidad de Rioja (España) Lecturas matemáticas*, 24(2), 137-149. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7175604.pdf>
- Moreno S, J. L., & Cantú, A. D. (2012). Estudio sobre el desempeño de proyectos de inversión privada en la provincia de Mendoza (Argentina). In *fi.mdp.edu.ar*. www.riipro.org/journal
- Morris, P. (2013). Reconstructing project management reprised: A knowledge perspective. In *Project Management Journal* (Vol. 44, Issue 5, pp. 6–23). <https://doi.org/10.1002/pmj.21369>
- Murray, M. (2003). *Rethinking construction: the egan report (1998)*. <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=69r-7vcAVgsC&oi=fnd&pg=PA178&dq=egan+report&ots=KaQNNfvdgT&sig=BM6KYq--BU4YSDMQjYg21frjEX8>
- Naim, M., & Barlow, J. (2003). An innovative supply chain strategy for customized housing. *Construction Management and Economics*, 21(6), 593–602. <https://doi.org/10.1080/0144619032000134129>
- Naoum, S. G. (2016). Factors influencing labor productivity on construction sites: A state-of-the-art literature review and a survey. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(3), 401–421. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-03-2015-0045>
- Navickas, V., Sujeta, L., & Vojtovich, S. (2011). Logistics systems as a factor of country's competitiveness. *Economics and Management*, 16(1), 231-237., 2011.
- Neumann, V., & Leonard, R. J. (1995). American Economic Association From Parlor Games to Social Science. In *Source: Journal of Economic Literature* (Vol. 33, Issue 2). <https://www.jstor.org/stable/2729025>
- Ning, & Yeo. (2002). Integrating supply chain and critical chain concepts in engineer-procure-construct (EPC) projects. *International Journal of Project Management*, 20(4), 253-262.
- Nyongesa, H. O., Musumba, G. W., & Chileshe, N. (2017). Partner selection and performance evaluation framework for a construction-related virtual enterprise: a multi-agent systems approach. *Architectural Engineering and Design Management*, 13(5), 344–364. <https://doi.org/10.1080/17452007.2017.1324398>
- OCDE. (2016). *OCDE*. <https://www.oecd.org/latin-america/latin-america-tackle-twin-challenges-of-inequality-and-low-productivity-to-raise-living-standards.htm>
- Oraee, M., Hosseini, M. R., Papadonikolaki, E., Palliyaguru, R., & Arashpour, M. (2017). Collaboration in BIM-based construction networks: A bibliometric-qualitative literature review. *International Journal of Project Management*, 35(7), 1288–1301. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.07.001>
- Ozorhon, B., Dikmen, I., & Birgonul, M. T. (2007). Using analytic network process to predict the performance of international construction joint ventures. *Journal of Management in Engineering*, 23(3), 156–163. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2007\)23:3\(156\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2007)23:3(156))
- Palaneeswaran, E., Kumaraswamy, M. M., & Zhang, X. Q. (2001). Reforging construction supply chains: A source selection perspective. *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(3), 165–178. [https://doi.org/10.1016/S0969-7012\(00\)00025-3](https://doi.org/10.1016/S0969-7012(00)00025-3)

- Palaneeswaran, E., Kumaraswamy, M., Rahman, M., & Ng, T. (2003). Curing congenital construction industry disorders through relationally integrated supply chains. *Building and Environment*, 38(4), 571–582. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00188-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00188-9)
- Pan, N.-H., Lin, Y.-Y., & Pan, N.-F. (2010). Enhancing construction project supply chains and performance evaluation methods: a case study of a bridge construction project. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(8), 1094–1106. <https://doi.org/10.1139/L10-047>
- Pauget, B., & Wald, A. (2013). Relational competence in complex temporary organizations: The case of a French hospital construction project network. *International Journal of Project Management*, 31(2), 200–211. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.07.001>
- Persson, F., & Thunberg, M. (2012). Adapting the SCOR model to the construction industry settings. *NOFOMA 2012 - The 24th Annual Nordic Logistics Research Network Conference, 7-8 June, Naantali, Finland, 2012*, Pp. 719–737.
- Pinto, J., & Winch, G.-. (2016). The unsettling of “settled science:” The past and future of the management of projects. *International Journal of Project - Elsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786315001325?casa_token=WmWArbZIWboAAA:fxkEq7i2d9MLQms086YNMQmpnCe9K2OITqUOg_fyaQ5H2DZadb7WURoMhKr_vQ5WDCI5Ak97JMA
- Pires, B., & Vieira, D. R. (2019). Projects as dynamic, multi-level temporary organizations: Advantages of an agent-based modeling approach. *Journal of Modern Project Management*, 6(3), 164–181. <https://doi.org/10.19255/JMPM01811>
- PMI. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (PMBOK PMI)*. Project Management Institute.
- PMI. (2018). *Pulse of the Profession*. Project Management Institute.
- Polat, G., & Arditi, D. (2005). The JIT materials management system in developing countries. *Construction Management and Economics*, 23(7), 697–712. <https://doi.org/10.1080/01446190500041388>
- Polat, G., Arditi, D., & Mungen, U. (2007). Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar. *Journal of Construction Engineering and Management*, 133(1), 29–39. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2007\)133:1\(29\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2007)133:1(29))
- Pryke, S. D. (2004). Analysing construction project coalitions: Exploring the application of social network analysis. *Construction Management and Economics*, 22(8), 787–797. <https://doi.org/10.1080/0144619042000206533>
- Pryke, S. D. (2005). Towards a social network theory of project governance. *Construction Management and Economics*, 23(9), 927–939. <https://doi.org/10.1080/01446190500184196>
- Puybaraud, M. (2002). *The Latham Report, 1994*. <https://uwe-repository.worktribe.com/output/1080229>
- Rezaei, J., van Roekel, W. S., & Tavasszy, L. (2018). Measuring the relative importance of the logistics performance index indicators using Best Worst Method. *Transport Policy*, 68, 158–169. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2018.05.007>
- Rodrigues Vieira, D., & Loures, P. L. (2016). Maintenance, Repair and Overhaul (MRO) Fundamentals and Strategies: An Aeronautical Industry Overview Holds the research chair in Management of Aeronautical Projects Université du Québec à Trois Rivières-Canada. In *International Journal of Computer Applications* (Vol. 135, Issue 12).
- Roscoe, D., & Mckeown, P. (2001). *modelos cuantitativos para la administración*. University of Georgia. Grupo Editora Iberoamericano. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&scioq=origen+de+los+juegos+de+negocios+como+simulación&q=modelos+cuantitativos+para+la+administración&btnG=
- Ruparathna, R., & Hewage, K. (2015a). Review of Contemporary Construction Procurement Practices. *Journal of Management in Engineering*, 31(3), 04014038. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000279](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000279)
- Ruparathna, R., & Hewage, K. (2015b). Sustainable procurement in the Canadian construction industry: Current practices, drivers and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 109, 305–314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.007>
- Safa, M., Shahi, A., Haas, C. T., & Hipel, K. W. (2014). Supplier selection process in an integrated construction materials management model. *Automation in Construction*, 48, 64–73. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.008>
- Sedita, S. R., & Apa, R. (2015). The impact of inter-organizational relationships on contractors’ success in winning public procurement projects: The case of the construction industry in the Veneto. *International*

Journal of Project Management.

- Segerstedt, A., & Olofsson, T. (2010). Supply chains in the construction industry. In *Supply Chain Management: An International Journal* (Vol. 15, Issue 5, pp. 347–353). <https://doi.org/10.1108/13598541011068260>
- Serpell, A., & Alarcón, L. (2001). Planificación y control de proyectos. *Ediciones Universidad Católica de Chile*.
- Serpell Bley, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción*. Universidad Católica de Chile.
- Shakantu, W., Muya, M., Tookey, J., & Bowen, P. (2008). Flow modelling of construction site materials and waste logistics: A case study from Cape Town, South Africa. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 15(5), 423–439. <https://doi.org/10.1108/09699980810902721>
- Shen, W., Hao, Q., Mak, H., Neelamkavil, J., Xie, H., Dickinson, J., Thomas, R., Pardasani, A., & Xue, H. (2010). Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction, and facilities management: A review. *Advanced Engineering Informatics*, 24(2), 196–207. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.09.001>
- Solminihac, H. De. (2011). *Procesos y técnicas de construcción*. <https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=sM0oCAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA6&dq=procesos+y+técnicas+de+construcción+solminihac&ots=hswPbQ9gWh&sig=-wCvXrpWFKMpscrqDDnZJG9ZtTU>
- Song, L., Mohamed, Y., & AbouRizk, S. M. (2009). Early Contractor Involvement in Design and Its Impact on Construction Schedule Performance. *Journal of Management in Engineering*, 25(1), 12–20. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2009\)25:1\(12\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2009)25:1(12))
- Suprpto, M., Bakker, H., & Mooi, H. (2015). Relational factors in owner–contractor collaboration: The mediating role of teamworking. *International Journal of Project Management*, 33(6), 1347–1363.
- Tapia, H. (2003). *Planificación y aprovisionamiento logístico en proyectos de construcción* (M. en Logística (ed.)). Tesis -Facultad de Ingeniería - UNCuyo.
- Tapia, H., Palma, R., & Forradellas, R. (2017). *Marco de referencia para el desarrollo de un modelo predictivo de la red de abastecimiento de proyectos con uso intensivo de recursos*. IX ENIDI - Encuentro de Investigadores y Docentes de Ingeniería; 276-282 - Mendoza-Argentina.
- Tapia, H., Palma, R., & Moreno, J. (2019). *Kpi's de cadenas de abastecimiento en proyectos de construcción*. IX Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyectos-Ecuador.
- Tapia, H., & Phillipott, O. (2012). *Cadenas de abastecimiento en proyectos (basado en la experiencia de proyectos de la industria de la construcción)*. 3er Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Proyecto (RIIPRO) Parte 1 p114-132 -Mar del Plata-Argentina.
- Tennant, S., & Fernie, S. (2013). Organizational learning in construction supply chains. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 20(1), 83–98. <https://doi.org/10.1108/09699981311288691>
- Tennant, S., & Fernie, S. (2014). Theory to practice: A typology of supply chain management in construction. *International Journal of Construction Management*, 14(1), 56–66. <https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875268>
- Tezel, A., Gosling, J., Kumar, M., & Koskela, L. J. (2017). *Transition from Engineer-to-Order (EtO) to Assembly-to-Order (AtO) in Civil Infrastructure Projects: An Exploration of the Highways Supply Chain The nature of knowledge View project*. <https://www.researchgate.net/publication/318099336>
- Thunberg. (2013). *Towards a Framework for Process Mapping and Performance Measurement in Construction Supply Chains*. In *Doctoral dissertation, Linköping University Electronic Press*. <https://doi.org/10.3384/lic.diva-101964>
- Thunberg, M., & Fredriksson, A.-. (2015). Supplier and contractor perspectives on supply chain planning problems in construction: A multiple case study. *22nd EurOMA Conference, Operations Management for Sustainable Competitiveness, June 26-July 1*. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:849155>
- Thunberg, M., Fredriksson, A., & Rudberg, M. (2016). Developing an organisation and process for supply chain planning in construction. *23rd EurOMA Conference 2016, 19-21st of June 2013, Trondheim Norway*,. <https://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:974912>
- Thunberg, M., Rudberg, M., & Gustavsson, T. K. (2017). Categorising on-site problems: A supply chain management perspective on construction projects». *Constr. Innov., Vol. 17, n.o 1, Pp. 90-111*.
- Uca, N., Civelek, M. E., & Çemberci, M. (2015). The effect of the components of logistics performance index on gross domestic product: conceptual model proposal. *Eurasian Business & Economics Journal*, 1(1), 86–93. <https://doi.org/10.17740/eas.econ.2015-v1-04>
- Venselaar, M., Gruis, V., & Verhoeven, F. (2015). Implementing supply chain partnering in the construction

- industry: Work floor experiences within a Dutch housing association. *Journal of Purchasing and Supply Management*, 21(1), 1-8.
- Verzuh, E. (2020). *The fast forward MBA in project management*. www.Amberton.edu.
- Vieira, D. R., Vieira, R. K., & Chain, M. C. (2016). Elements of managerial integration for sustainable product lifecycle management. *International Journal of Product Lifecycle Management*, 9(2), 87–107. <https://doi.org/10.1504/IJPLM.2016.079762>
- Vittorio D'aleo. (2015). The mediator role of logistic performance index: a comparative study . In *Journal of International Trade, Logistics and Law* (Vol. 1, Issue 1). <http://www.jital.org/index.php/jital/article/view/26>
- Vrijhoef, R. (2011). Supply chain integration in the building industry: The emergence of integrated and repetitive strategies in a fragmented and project-driven industry. *los Press*.
- Vrijhoef, R., & Koskela, L.-. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management - Elsevier*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096970120000137?casa_token=ULO_op2Oih4AAA AA:Cfit0tVsxkFwoRd_kyhL8LQ9OvNK7h4ytGXE6Hcquayaqyllh4o1k3RoV3TXZ2BwRoojGF0K3iE
- Vrijhoef, R., & Koskela, L.-. (2005). A critical review of construction as a project-based industry: identifying paths towards a project-independent approach to construction. *Proceedings CIB Combining Forces. Helsinki*.
- Walsh, K. D., Asce, M., Hershauer, J. C., Tommelein, I. D., Asce, A. M., & Walsh, T. A. (2000). Strategic Positioning of Inventory to Match Demand in a Capital Projects Supply Chain. *Ascelibrary.Org*, 130(6), 818–826. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2004\)130:6\(818\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2004)130:6(818))
- Wang, & Hubbard, B. (2017). A Survey Study on Industrial Construction Project Supply Chain: On Time Performance and Practices of Structural Steel and Pipe Spools. *Procedia Engineering*, 196, 653–659. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.054>
- Wang, & Koh. (2010). *Enterprise Networks and Logistics for Agile Manufacturing* (L. Wang & S. C. Lenny Koh (eds.)). Springer.
- Wang, Lin, Y. C., & Lin, P. H. (2007). Dynamic mobile RFID-based supply chain control and management system in construction. *Advanced Engineering Informatics*, 21(4), 377–390. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.09.003>
- Wang, Zhang, Chong, & Wang. (2017). Integrated supplier selection framework in a resilient construction supply chain: An approach via analytic hierarchy process (AHP) and grey relational analysis (GRA). *Sustainability (Switzerland)*, 9(2). <https://doi.org/10.3390/su9020289>
- WEForum. (2018). *Data World Economic Forum*. <https://www.weforum.org>
- Williams, G. (2011). *Data mining with Rattle and R: The art of excavating data for knowledge discovery*. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=mDs7OXj03V0C&oi=fnd&pg=PR3&dq=Data+Mining+Wit h+Rattle+and+R&ots=m-V9qkmU_j&sig=FLbk6kvX_ms4VspAU7D1LhAFY0s
- Winch, G. M. (2006). Towards a theory of construction as production by projects. *Building Research and Information*, 34(2), 154–163. <https://doi.org/10.1080/09613210500491472>
- Wong, J. K. W., Chan, J. K. S., & Wadu, M. J. (2016). Facilitating effective green procurement in construction projects: An empirical study of the enablers. *Journal of Cleaner Production*, 135, 859–871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.001>
- Xue, X., Li, X., Shen, Q., & Wang, Y. (2005). An agent-based framework for supply chain coordination in construction. *Automation in Construction*, 14(3), 413–430. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2004.08.010>
- Xue, X., Shen, Q., Li, H., O'Brien, W. J., & Ren, Z. (2009). Improving agent-based negotiation efficiency in construction supply chains: A relative entropy method. *Automation in Construction*, 18(7), 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.05.002>

ANEXOS