

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
REGIONAL SANTA FE
DOCTORADO EN INGENIERÍA – MENCIÓN SISTEMAS

Tesis de Doctorado:

*Gestión de Mejoras en Procesos en Ingeniería de
Software con el soporte de modelos sistémicos.
Aplicación al sector de desarrollo de software de Argentina*

Autor: Pedro E. Colla

Director: Dr. Jorge Marcelo Montagna

Copia impresa 11/2/2010 20:59 Revision 11

Versión Final

2009

ISBN 978-987-05-8108-6



9 789870 581086

"Siempre imaginé que el paraíso sería algún tipo de biblioteca..."

Jorge Luis Borges

Agradecimientos

En el camino para construir esta tesis obtuve muchos aprendizajes; aquellos que tiene que ver con la ciencia están distribuidos en los capítulos que siguen, los que tienen que ver con el espíritu están en estas líneas. He aprendido que, contra lo que podría suponerse, una tesis no es un trabajo individual. Es un trabajo de un gran equipo de gente que lo hace posible. Estas líneas son para, mínimamente, darles el crédito que se merecen.

Este trabajo hubiera sido imposible sin el esfuerzo, consejo, colaboración, guía y aliento de mi director de tesis, el Dr. Jorge Marcelo Montagna; ¡gracias Marcelo!

No tuve otra cosa que apoyo de toda la gente en UTN-FRSF, empezando por el Dr. Horacio Leone quien como el entonces responsable del doctorado creyó que esta tesis era posible y del Dr. Omar Chiotti quien como responsable actual lo hizo posible. Mi vida hubiera sido muy difícil sin la coordinación que la Ing. Rosana Portillo hizo de todas mis clases en la vecina Santa Fe desde mi lugar de residencia en la mediterránea Córdoba.

A lo largo del esfuerzo del doctorado el Dr. Luis Olsina y el Dr. Ernesto Martinez me aportaron valiosas contribuciones y puntos de vista desafiantes, algunos de ellos definieron como abordé algunos problemas y los resultados están reflejados en este trabajo. En el exterior, el Dr. Warren Harrison y el Dr. David Raffo de la Portland State University y el Dr. Dennis Goldenson junto con el Dr. Michael Konrad del SEI me compartieron consejos y revisiones cruciales a lo largo del trabajo de investigación; fue con ellos que comprendí lo que había que comprender para hacer este trabajo posible. El Dr. Tore Dyba me ayudó con claves para robustecer esta tesis y estar seguro que lo esencial estaba bien cubierto. De todos ellos son los buenos consejos, los errores son solo míos.

Mis compañeros docentes en el Instituto Universitario Aeronáutico, mi casa académica, y en especial el decano de la Facultad de Ingeniería el Brig. Ing. (RE) Fernando Alvarez, el Mg. Héctor Riso y la Ing. Sandra Harperath fueron los que hicieron posible el marco académico en el cual desarrollé buena parte de este trabajo de investigación.

No hubiera ido mucho más allá del marco teórico de mi tesis sin haber contado con la cooperación del CESSI para obtener la evidencia empírica necesaria, mi especial agradecimiento a la Ing. Emilce Chiricola y el Lic. Mario Sosa quienes cooperaron conmigo en hacer realidad los trabajos de campo así como las autoridades el Dr. Miguel A. Calello y la Lic. Vanessa Lucchesi por autorizar el soporte institucional de CESSI en el esfuerzo. Los datos fueron gracias a la CESSI, el uso y conclusiones extraídos de éstos son de mi única responsabilidad.

Mis compañeros de trabajo, en Motorola primero y en HP posteriormente me han proporcionado enormes dosis de aliento y comprensión. La gerencia senior de HP me ayudó en incontables ocasiones, material y espiritualmente, para hacer posible este trabajo; Mr. Hormuzd Karkaria primero, Mr. Keith Kerrison actualmente y en especial mi jefe, el Ing. Diego Schargorodsky, me permitieron llegar hasta aquí. Dudo que hubiera podido sin su soporte.

Mi viejo no puede ver este momento, partió hace algún tiempo, pero mi vieja por suerte si lo puede ver; espero que ambos estén orgullosos; ellos construyeron los cimientos para que este trabajo fuera posible y por eso el logro es también de ellos.

Mi suegra Luz, mis hijos, Pedro (el primer doctor en la familia), Claudia Alejandra Inés, (quien aplicó su lógica de médica a un trabajo de ingeniería para ayudarme a la edición de esta tesis) y Marcelo (quien se hizo dueño de los detalles para en esta tesis fuera consistente en ellos) fueron fuente de insustituible soporte, contención, paciencia y comprensión.

Finalmente a mi compañera de toda la vida, María, no encuentro palabras para expresar lo importante que es; le tomo prestado a Juan Luis Guerra un párrafo de su canción para expresarlo, “...si tu no bailas conmigo, yo ya no quiero bailar...”.

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	1-4
ÍNDICE DE FIGURAS	1-13
ÍNDICE DE TABLAS	1-15
Capítulo 1 Introducción	1-17
1.1. Antecedentes	1-17
1.1.1. Problemas en desarrollo de software.	1-17
1.1.2. Gestión de calidad en software	1-19
1.2. Estado del arte	1-22
1.3. Fuentes de mejora	1-24
1.4. Definición del problema.....	1-25
1.5. Contribuciones de esta investigación	1-27
1.6. Metodología de investigación	1-28
1.7. Esquema de la tesis	1-31
Capítulo 2 Mejoras en procesos de software	2-33
2.1. Introducción	2-33
2.1.1. Proceso de software	2-34
2.1.2. Modelos de proceso	2-36
2.1.3. Infraestructura de proceso	2-37
2.1.4. Medición del proceso	2-38
2.2. Evaluación de procesos de software	2-39
2.2.1. Modelos de referencia.....	2-40
2.2.2. Otros modelos de calidad.....	2-41
2.2.3. Factores de éxito en evaluación de procesos	2-42
2.3. Despliegue de mejoras de los procesos de software (SPI)	2-43
2.3.1. Factores de éxito en mejora de procesos.....	2-44
2.4. Innovación de procesos de software	2-45
2.4.1. Mejoras de proceso vs. Innovación.....	2-46
2.5. Modelo de madurez SEI-CMMI™	2-47
2.5.1. Representación	2-48
2.5.2. Conceptos.....	2-48
2.5.3. Áreas de proceso	2-48
2.5.4. Evaluación de madurez	2-49
2.6. Enfoques para implementar SPI.....	2-50

2.6.1.	Marco Organizacional.....	2-51
2.6.2.	Contexto nacional	2-52
2.6.3.	Modelos Organizacionales.....	2-53
2.7.	Evaluación de la inversión	2-55
2.7.1.	Métodos para evaluar la inversión	2-58
2.7.1.1	Evaluación económica de inversiones	2-59
2.7.1.2	Evaluación financiera de inversiones	2-60
2.7.1.3	Evaluación de inversiones como opciones	2-63
2.7.1.4	Evaluaciones basadas en intangibles económicos	2-64
2.7.2.	Valor presente neto en proyectos SPI	2-65
2.7.3.	Erogaciones.....	2-68
2.7.4.	Beneficios	2-69
2.7.4.1	Mejora en los ingresos	2-69
2.7.4.2	Mejora en la performance	2-70
2.7.4.3	Mejoras en la valuación de activos subyacentes	2-75
2.8.	Otros enfoques para implementar SPI	2-78
2.8.1.	Otros beneficios	2-79
2.9.	Gestión del esfuerzo de mejora.....	2-80
2.10.	Variaciones por geografía	2-82
2.11.	Pequeñas y medianas empresas.....	2-85
2.11.1.	SPI en PyMEs	2-85
2.11.1.1	Las PyMEs necesitan de las iniciativas SPI	2-86
2.11.1.2	Las PyMEs son reticentes a desplegar iniciativas SPI	2-87
2.11.1.3	Las PyMEs reconocen el valor de SPI	2-87
2.11.1.4	Tensión SEI CMMI TM vs. metodologías ágiles	2-87
2.12.	Resumen.....	2-88
	Capítulo 3 Modelos en ingeniería de software	3-93
3.1.	Introducción	3-93
3.2.	Modelos dinámicos	3-95
3.3.	Formulación de modelos dinámicos	3-97
3.4.	Recolección de datos.....	3-98
3.4.1.	Distribución de probabilidades de las variables aleatorias	3-99
3.5.	Estructurar la teoría.....	3-100
3.6.	Desarrollo del modelo	3-101
3.6.1.	Definición del problema	3-101

3.6.2.	Creación del modelo conceptual.....	3-102
3.6.3.	Implementación del modelo.....	3-102
3.6.4.	Simulación	3-103
3.6.5.	Evaluación.....	3-103
3.7.	Métodos para verificación y validación de modelos.....	3-103
3.7.1.	Proceso de validación	3-104
3.7.2.	Técnicas de validación.....	3-106
3.7.3.	Validez de los datos	3-108
3.7.4.	Validación del modelo conceptual.....	3-108
3.7.5.	Verificación de implementación	3-109
3.7.6.	Validez operativa	3-109
3.7.6.1	Comparación gráfica de resultados	3-110
3.7.6.2	Intervalos de confianza	3-110
3.7.6.3	Test de hipótesis	3-110
3.7.7.	Mejores prácticas de validación.....	3-111
3.8.	Modelos dinámicos en SPI.....	3-112
3.9.	Resumen.....	3-113
	Capítulo 4 Modelo de inversión en SPI	4-115
4.1.	Introducción	4-115
4.2.	Tipos de flujos de fondos	4-117
4.2.1.	Flujos de fondos tangibles	4-117
4.2.2.	Flujos de fondos intangibles	4-118
4.2.2.1	Beneficios contingentes	4-119
4.2.2.2	Riesgos contingentes	4-119
4.3.	Definición del problema a modelar.....	4-120
4.4.	Egresos por SPI.....	4-123
4.4.1.	Esfuerzo de despliegue.....	4-124
4.4.2.	Esfuerzo de entrenamiento.....	4-125
4.4.3.	Costo total de implementación.....	4-126
4.4.4.	Costo de evaluación	4-127
4.4.5.	Costo de mantenimiento	4-127
4.4.6.	Expresión financiera del costo de SPI.....	4-128
4.5.	Ingresos por SPI.....	4-130
4.5.1.	Mejoras de performance.....	4-130
4.5.1.1	Corrección por riesgo de evaluación	4-132

4.5.1.2	Corrección por tamaño de organización	4-133
4.5.2.	Ingresos adicionales	4-134
4.5.3.	Menor incertidumbre en los resultados.....	4-135
4.5.4.	Beneficios intangibles	4-139
4.5.5.	Ingresos totales por SPI	4-140
4.6.	Costo de oportunidad	4-140
4.7.	Horizonte de inversión	4-141
4.8.	Variables independientes	4-142
4.9.	Parámetros.....	4-143
4.10.	Variables dependientes	4-143
4.11.	Modelo conceptual	4-144
4.12.	Resumen.....	4-144
Capítulo 5	Perfiles SPI en organizaciones de Argentina	5-149
5.1.	Introducción	5-149
5.2.	Metodología de Investigación.....	5-150
5.2.1.	Propósito del estudio.....	5-150
5.2.2.	Método de construcción.....	5-151
5.2.3.	Dimensión cuantitativa	5-151
5.2.3.1	Análisis de correlaciones	5-153
5.2.4.	Tipos de variables	5-153
5.2.5.	Tipos de diseño	5-154
5.2.6.	Objetivo del estudio	5-154
5.2.7.	Fuentes de datos	5-155
5.2.8.	Marco del análisis	5-155
5.2.9.	Demografía de la encuesta	5-157
5.2.10.	Conclusiones reportadas por CESSI	5-158
5.3.	Análisis de resultados.....	5-160
5.3.1.	Dependencia con el tamaño de la organización.....	5-160
5.3.2.	Dependencias con Variables Independientes y Parámetros....	5-162
5.4.	Amenazas a la validez.....	5-167
5.5.	Resumen.....	5-168
Capítulo 6	Relevamiento de perfiles SPI en Argentina	6-171
6.1.	Introducción	6-172
6.2.	Estrategia de Investigación	6-172
6.3.	Creación de la Encuesta	6-173

6.3.1.	Objetivos de Investigación.....	6-173
6.3.2.	Audiencia	6-174
6.3.3.	Diseño del Plan de Muestreo	6-174
6.3.4.	Definiciones operativas.....	6-177
6.3.5.	Diseño del Cuestionario	6-179
6.3.6.	Distribución del Cuestionario	6-179
6.4.	Marco del análisis	6-180
6.5.	Esfuerzo y tiempo para implementar	6-181
6.6.	Tamaño de la organización	6-183
6.6.1.	Esfuerzo y tiempo de implementación vs. Tamaño	6-184
6.7.	Preferencias de horizonte de inversión	6-184
6.8.	Impactos en costo y plazos de entrega	6-185
6.9.	Productividad, ingresos y entregas.....	6-186
6.10.	Otras mejoras organizacionales.	6-187
6.11.	Amenazas a la Validez	6-189
6.12.	Resumen.....	6-190
	Capítulo 7 Implementación y validación del modelo	7-195
7.1.	Introducción	7-196
7.2.	Diagrama causal	7-196
7.3.	Modelo estocástico.....	7-199
7.4.	Ejecución del modelo.....	7-200
7.4.1.	Modelo ejecutable (nivel superior)	7-201
7.4.2.	Subsistema SPI (nivel inferior).....	7-204
7.4.2.1	Modelado del costo de implementación (C_{sepg})	7-205
7.4.2.2	Modelado del ingreso por performance (I_{prod})	7-207
7.4.2.3	Modelado del costo de evaluación (C_a)	7-209
7.4.2.4	Modelado del ingreso por menor incertidumbre en los resultados (ΔI)	7-210
7.4.2.5	Modelado de mayores ingresos (I_g)	7-211
7.4.2.6	Valor presente de la inversión en SPI (VPN_{spi})	7-211
7.5.	Ejecución del modelo.....	7-212
7.6.	Verificación del modelo ejecutable.....	7-216
7.6.1.	Verificación de la estructura interna	7-216
7.6.2.	Verificación de comportamiento.....	7-217
7.7.	Validación del modelo ejecutable	7-218

7.7.1.	Validación estadística	7-218
7.7.2.	Validación por expertos	7-221
7.8.	Resumen.....	7-221
Capítulo 8	Evaluación de Escenarios	8-225
8.1.	Introducción	8-225
8.2.	Ejecución del modelo.....	8-226
8.2.1.	Sensibilidad al tamaño de la organización.....	8-227
8.2.2.	Sensibilidad al horizonte de inversión	8-229
8.2.3.	Sensibilidad al costo de evaluación	8-231
8.2.4.	Sensibilidad al costo por ingeniero	8-234
8.2.5.	Sensibilidad al costo de oportunidad	8-235
8.2.6.	Variación de la tasa libre de riesgo (r_f)	8-236
8.2.7.	Variación del factor de reducción de riesgo.....	8-236
8.2.8.	Mejora en incertidumbre de activos subyacentes (I_{FV}).....	8-237
8.2.9.	Sensibilidad a la probabilidad de éxito (ξ).....	8-238
8.2.10.	Variación de crecimiento de organización (g)	8-239
8.3.	Estudio de estrategias de inversión SPI	8-241
8.3.1.	Estrategia de crecimiento	8-241
8.3.2.	Decisión entre SEI-CMMI™ Nivel 2 o Nivel 3	8-243
8.3.3.	Estrategias de implementación	8-244
8.3.4.	Requerimientos de recursos en inversiones exitosas	8-246
8.4.	Resumen.....	8-247
Capítulo 9	Conclusiones	9-250
9.1.	Introducción	9-250
9.2.	Preguntas de investigación.....	9-255
9.3.	Contribuciones originales	9-259
9.4.	Limitaciones y amenazas a la validez	9-260
9.5.	Trabajo Futuro.....	9-262
9.5.1.	Consolidar la estructura del trabajo	9-262
9.5.2.	Instrumentos adicionales.....	9-263
9.6.	Reflexiones finales.....	9-263
Referencias Bibliográficas		9-267
Glosario		9-279
Apéndice A	Factor de reducción de riesgo (λ)	A-293
A.1	Uso de SEI SW-CMM y la performance de las organizaciones.....	A-293
A.2	Análisis de datos	A-294

A.3	Reducción de Incertidumbre (λ)	A-297
A.4	Estimación de λ por reducción de retrasos	A-297
A.5	Resumen y amenazas a la validez	A-300
Apéndice B	Probabilidad de éxito (ξ)	B-301
Apéndice C	Encuesta nacional de perfiles SPI en Argentina.	C-303
Apéndice D	Componentes utilizados en GoldSim.	D-304
Apéndice E	Correlación de Performance con SEI SW-CMM	E-306
Apéndice F	Mapa Encuesta CESSI 2007	F-307
Apéndice G	Encuesta Nacional 2008	G-308
G.1	Instrucciones de llenado:	G-308
G.2	Cuestionario	G-310
G.3	Glosario	G-311
Apéndice H	Análisis de rigor metodológico y relevancia.	H-313

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Foco del modelo de madurez de capacidades integrado (Fuente: http://www.sei.cmu.edu)	1-20
Figura 1-2 Distribución de organizaciones que adoptaron CMMI por tamaño [SEI2006]	1-21
Figura 1-3 Niveles de madurez del modelo SEI-CMMI(TM) [SEI2009]	1-23
Figura 1-4 Método esquemático de investigación.....	1-29
Figura 2-1 Cambios de performance de proceso con mejora e innovación.....	2-34
Figura 2-2 Relación entre factores internos y externos con el resultado de uso de proceso de software	2-35
Figura 2-3 Estructura jerárquica de GQM [Basili1984].....	2-39
Figura 2-4 Contexto de la evaluación de procesos de software [ISO/IEC 15504]	2-39
Figura 2-5 El ciclo de mejora de Shewart [Deming1986].....	2-43
Figura 2-6 Propuesta de mejora de procesos integrada con innovación [Dyba2001].....	2-47
Figura 2-8 Elementos del enfoque sistémico para la mejora de procesos [Colla-Montagna2005].....	2-54
Figura 2-9 Visión Sistémica de los impactos organizacionales derivados de esfuerzos en SPI [Walden2002]	2-56
Figura 2-10 Despliegue SPI bajo condiciones de restricción de recursos	2-65
Figura 2-11 Costo de Calidad como proporción del costo total para SEI SW-CMM [Knox1993]	2-73
Figura 2-12 Mejoras de Esfuerzo con nivel SEI SW-CMM [Clark2000]	2-75
Figura 2-13 Ejemplo hipotético de flujo de gastos e ingresos de fondos de proyecto de desarrollo.....	2-76
Figura 2-14 Distribución de tiempos de implementación por nivel para SEI SW-CMM [SEI2009].....	2-81
Figura 3-1 Relaciones causales entre corrimientos de calendario y staff [Brooks1975].....	3-96
Figura 3-2 Revisión del ciclo de desarrollo de un modelo	3-97
Figura 3-3 Generación de modelo.....	3-98
Figura 3-4 Ciclo hermenéutico para la creación de modelos dinámicos [Madachy1999].....	3-100
Figura 3-5 Etapas del modelado y principales objetivos [Madachy1999].....	3-102
Figura 3-6 Relación entre confianza y costo de validación [Sargent1998]	3-104
Figura 3-7 Metodología de modelado de proceso simplificado [Sargent1998].....	3-106
Figura 4-1 Modelo conceptual de inversión en SPI	4-116
Figura 4-2 Factores relevantes en el modelo conceptual de inversión en SPI.....	4-122
Figura 5-1 Probabilidades de errores Tipo I y Tipo II en un test de hipótesis [Dyba2001]	5-152
Figura 5-2 Resumen de Análisis Estadístico de la Encuesta [resultado de ejecución con Minitab v1.42].....	5-158
Figura 5-3 Distribución de Frecuencias SEI-CMMI(TM) e ISO-9000 respecto al tamaño [CESSI2007]	5-159
Figura 7-1 Diagrama causal preliminar [usando VenSim v5.8d PLE]	7-197
Figura 7-2 Evolución del VPN_{spi} con el tiempo durante esfuerzo SPI [ejecución VenSim]	7-198
Figura 7-3 Modelo de nivel superior [Goldsim 9.6].....	7-202
Figura 7-4 Modelo integrado de inversión SPI	7-204
Figura 7-5 Esfuerzo de implementación SPI.....	7-205
Figura 7-6 Tiempo de implementación de iniciativa SPI.....	7-206
Figura 7-7 Distribución de mejoras de productividad por nivel SEI SW-CMM [Clark2000]	7-208
Figura 7-8 Distribución de Costos de Evaluación.....	7-210

Figura 7-9 Evolución en el tiempo del VPN en una ejecución de simulación típica [Goldsim v9.6]	7-213
Figura 7-10 Distribución de probabilidad del VPN en una corrida de simulación típica [Goldsim v0.6].....	7-213
Figura 7-11 Sensibilidad del VPN a los factores organizacionales [Goldsim v9.6].....	7-215
Figura 7-12 Sensibilidad el VPN a la variación de factores organizacionales [GoldSim v9.6]	7-215
Figura 7-13 Resultados comparativos entre la Encuesta CESSI 2007 y la ejecución del modelo.....	7-220
Figura 8-1 Relación entre Valor Presente Neto de Inversión y Tamaño de la Organización	8-228
Figura 8-2 Relación entre tamaño de organización y resultado de SPI para distintos niveles de productividad.....	8-229
Figura 8-3 Relación entre VPN de la inversión en SPI y el horizonte de planeamiento (CMMI Nivel 3).....	8-230
Figura 8-4 Relación entre Valor Presente Neto y Horizonte de Planeamiento (CMMI Nivel 5)	8-231
Figura 8-5 Relación entre VPN y costo de evaluación.....	8-232
Figura 8-6 Incremento de costo de evaluación con evaluaciones sucesivas.....	8-233
Figura 8-7 Relación entre el VPN y el costo de evaluaciones futuras sucesivas.....	8-234
Figura 8-8 Relación entre Valor Presente Neto y Costo por Ingeniero	8-234
Figura 8-9 Relación entre VPN y costo de oportunidad.....	8-235
Figura 8-10 Relación entre Valor Presente Neto y Factor de Incertidumbre	8-237
Figura 8-11 Relación entre VPN y mejora financiera en rendimiento de activos subyacentes	8-237
Figura 8-12 Relación entre VPN y probabilidad de éxito en la evaluación.....	8-238
Figura 8-13 Relación de VPN con crecimiento futuro	8-239
Figura 8-14 Relación entre VPN vs. Crecimiento futuro	8-240
Figura 8-15 Estrategias de crecimiento para distintos tamaños organizacionales	8-242
Figura 8-16 Decisión de hoja de ruta para acceder a SEI-CMMI™ nivel 3.....	8-243
Figura 8-17 Variación del VPN con la reducción del esfuerzo de implementación.....	8-245
Figura 8-18 Evolución del VPN por mejoras en la relación esfuerzo/tiempo de implementación.....	8-246
Figura 8-19 Esfuerzo de implementación de inversión SPI vs. Tamaño de la organización.....	8-247
 Figura. A-1 Perfil estadístico de CPI para organizaciones [Lawlis1995].....	 A-295
Figura. A-2 Distribución de CPI por Nivel de Madurez SEI SW-CMM™ [Lawlis1995]	A-296
Figura. A-3 Fidelidad de Calendario por Nivel de Madurez SEI CMMI™ [Paulisch 2008]	A-298

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Mejora de Performance aplicando SEI-CMMI [SEI 2005].....	1-24
Tabla 2-1 Factores que promueven y dificultan iniciativas SPI [Goldenson1995]	2-45
Tabla 2-2 áreas de proceso para cada nivel de madurez del modelo SEI-CMMI [SEI2009]	2-49
Tabla 2-3 Retornos de inversión típicos para SPI basados en SEI-CMMI(TM) [Jones1996].....	2-57
Tabla 2-4 Elementos de Costo de SPI a considerar [Walden2002].....	2-69
Tabla 2-5 Performance en Motorola [Diaz1997,Diaz2002].....	2-71
Tabla 2-6 Cantidad de Evaluaciones SEI-CMMI a nivel global [Fuente SEI 2005].....	2-84
Tabla 3-1 Clasificación de validez operacional [Sargent1998].....	3-110
Tabla 4-1 Áreas de Proceso por nivel de madurez SEI-CMMI [SEI2009]	4-125
Tabla 4-2 Resumen de hipótesis de investigación.....	4-146
Tabla 5-1 Frecuencia de Adopción de SEI-CMMI™ e ISO-9000 por organizaciones en Argentina [CESSI2007]...	5-161
Tabla 5-2 Dependencia de SEI-CMMI™ e ISO-9000 de parámetros.....	5-162
Tabla 5-3 Relación entre SEI-CMMI™ e ISO-9000 con variables supuestas independientes.....	5-164
Tabla 5-4 Análisis GLM para SEI-CMMI™ (ejecución MiniTab v1.2).....	5-165
Tabla 5-5 Análisis GLM para ISO-9000 (ejecución MiniTab v1.2).	5-166
Tabla 6-1 Niveles de confianza para una variable aleatoria Z exhibiendo distribución normal.....	6-175
Tabla 6-3 Esfuerzo y Tiempo de implementación por nivel SEI-CMMI(TM)	6-182
Tabla 6-4 Distribución del tamaño de organización.....	6-183
Tabla 6-5 Resultados de horizonte de inversión en la población encuestada.	6-185
Tabla 6-6 Resultados de Costo y Plazos de Entrega	6-185
Tabla 6-7 Respuestas sobre productividad, ingresos y resultados de entrega.	6-186
Tabla 6-8 Mejoras efectivas usando el test de Wilcoxon de 1 prueba.....	6-187
Tabla 6-9 Otras mejoras organizacionales	6-187
Tabla 6-10 Relación con alta madurez	6-188
Tabla 6-11 Concordancia entre factores ordinales	6-189
Tabla 7-1 Variables independientes implementadas en modelo de nivel superior.....	7-203
Tabla 7-2 Riesgo de evaluación (ξ) y factor de reducción de riesgo (λ) para distintos niveles SEI-CMMI™.....	7-209
Tabla 7-3 Frecuencia de organizaciones adoptando SEI-CMMI(TM) vs. pronostico de modelo	7-219
Tabla. A-1 Media y Desvio Standard en Poblaciones por Grupo de Madurez (Resultado MiniTab v1.2)	A-297
Tabla. A-2 Resultados de Simulación de Reducción de Incertidumbre [Paulisch2008]	A-299
Tabla. B-1 Resultados de Evaluaciones SEI SW-CMM (Hayes 1995).....	B-301
Tabla. C-1 Datos de encuesta de perfiles SPI realizada junto con CESSI en Argentina	C-303
Tabla. E-1 Datos de Campo Dra. P.Lawlis [Lawlis1995] Correlación entre Performance y SEI SW-CMM	E-306
Tabla. F-1 Resumen de Mapa de Extracción de Datos (Survey CESSI 2007).....	F-307
Tabla. H-1 Criterios de Kitchenham para evaluación de robustez de la investigación [Kitchenham2002]	H-316
Tabla. H-2 Criterio de Benbasat para la evaluación de relevancia de la investigación [Benbasat1999].....	H-318

"Hay dos errores que se pueden cometer en el camino a la verdad... no llegar al final de la ruta y no comenzar."

Buda (Príncipe Gautama Siddharta, fundador del Budismo, 563-483 A.C.)

Capítulo 1 Introducción

Este capítulo presenta los antecedentes y fundamentos de la investigación realizada sobre las mejoras en los procesos de producción de software y las características de las inversiones necesarias para realizarlos. Se describen además los objetivos generales y particulares perseguidos por este trabajo y las contribuciones originales propuestas. Finalmente se anticipa la estructura temática y metodología de trabajo a utilizar en la tesis.

1.1. Antecedentes

El software se ha constituido en la infraestructura de la sociedad moderna y es, por consiguiente, crítico tanto para las actividades públicas como para las privadas, sosteniendo un espectro de usos altamente sensitivos para el desarrollo económico, científico y social. Al mismo tiempo existe la percepción creciente que la calidad del software y las fallas que pueden ocasionar son un aspecto débil en la cadena de su uso, al punto que eventualmente pueden ponerse en riesgo vidas y negocios. La industria abunda en ejemplos de esfuerzos de desarrollo que son entregados más tarde que lo previsto, a costos mayores, con funcionalidades inferiores a las esperadas, que experimentan fallas significativas o proveen resultados incorrectos.

Más allá de avances tecnológicos sustantivos, las demandas siempre crecientes, la complejidad de los problemas resueltos y las escalas de esfuerzo involucradas en el desarrollo de software moderno parecen superar la capacidad de las organizaciones para evitar impactos en su calidad.

Es claro que aplicaciones más grandes, más complejas y con mayor dificultad de ser testeadas sólo aumentan el riesgo de encontrar errores de funcionamiento, excepto que al mismo tiempo se reduzcan los defectos introducidos en el software en el momento de su creación o mantenimiento, es decir que se mejore la calidad del desarrollo.

1.1.1. Problemas en desarrollo de software.

El término *ingeniería de software* fue introducido por primera vez en 1968 durante la conferencia de la OTAN en Garmisch-Partenkirchen [Naur1969], de donde emergió el consenso que existen problemas profundos en la creación y mantenimiento de software. Estos problemas

fueron discutidos con un enfoque sistémico, entre otros, por Brooks [Brooks1975] en su clásico libro “*The Mythical Man-Month*”, donde el término *crisis de software* fue utilizado para describir los problemas inherentes al desarrollo de software. Brooks distinguió, quizás por primera vez, los principales problemas del desarrollo, que consisten en dificultades inherentes a la naturaleza misma del software como creación intelectual y no sólo accidentes que eventualmente pueden ser resueltos por un proceso de corrección sistemático.

Se han realizado numerosos intentos para abordar la mejora de calidad en software a partir de la aplicación de métodos de prueba matemática [Hoare1984], bajo la promesa de lograr desarrollos prácticamente libres de errores mediante la remoción sistemática de todas aquellas partes que no superen una verificación formal y rigurosa. Desafortunadamente, este enfoque sólo ha sido fructífero en dominios de aplicación demasiado estrechos como para causar un impacto significativo en la industria.

Sin embargo, la aplicación de las prácticas de ingeniería como enfoque sistemático a la creación de software fue impulsada por Lehman [Lehman1989] y más recientemente por Basili [Basili1996] quienes insisten en considerar la ingeniería de software como una disciplina susceptible de recibir prácticas consistentes con un enfoque científico a los problemas bajo estudio.

La aplicación de un enfoque ingenieril a la creación de software invita a desplegar principios y prácticas que la ingeniería utiliza para abordar los problemas esenciales en una variedad de otros dominios tecnológicos. Esta aproximación lleva directamente a tratar la secuencia de tareas involucradas en la creación de software como una red estructurada de actividades repetitivas donde se pueden desplegar criterios de optimización y mejoras. Esta secuencia de actividades recibe el nombre de *proceso de desarrollo de software* (*software development process*) y las mejoras que se aplican sobre éste reciben el nombre de *mejora de procesos de desarrollo de software* (*software process improvement* o en adelante SPI).

Humphrey [Humphrey1989a] fue el primero que postuló que los problemas esenciales al desarrollo de software tienden a ser de gestión y no tecnológicos. Partiendo de esa premisa desarrolló un marco estructurado para la gestión y mejora del proceso de software que luego fue conocido como el *modelo de madurez de capacidades para software* (*capability maturity model for software* o *SW-CMM*) [Paulik1995]. Este marco, patrocinado formalmente por el *Software Engineering Institute* (SEI) de la Universidad Carnegie-Mellon, utiliza un modelo de referencia con cinco niveles de madurez. La premisa sobre la cual es construido es que la calidad del software es mayormente gobernada por la calidad del proceso utilizado para su desarrollo y mantenimiento [Bamberger1997, Diaz2002, Eickelmann2003, Hefner2001].

El SEI publicó las bases de este modelo inicial, el cual fue mejorado por el *Modelo de*

Madurez de Capacidades Integrado (Capability Maturity Model Integrated o CMMI) en el año 2000 [Miller2002]. Este modelo posteriormente evolucionó a la versión 1.1 y luego, en el año 2007, a su versión corriente 1.2, sentando las bases para la puesta en marcha de sistemas de calidad apropiados para la gestión de ambientes de ingeniería de software [Paulik1995]. El SEI ha anunciado la disponibilidad de la versión 1.3 para el año 2010 [SEI2009].

El modelo SEI-CMMI™ está entonces fundado en la tradición ingenieril de enfatizar la predictibilidad, repetibilidad y la posibilidad de utilizar técnicas estadísticas para los esfuerzos de mejora sistemática en el dominio tecnológico del desarrollo de software. Humphrey [Humphrey1989b] sentó las bases para considerar que si el proceso no está bajo control estadístico no es posible realizar mejora continua sobre él hasta que lo esté.

El enfoque de Humphrey está alineado con las tradiciones racionalistas de la ingeniería y, de hecho, sus conceptos pueden verse como derivados de modelos industriales tradicionales.

1.1.2. Gestión de calidad en software

Se piensa a menudo que la búsqueda de calidad es una iniciativa relativamente moderna cuando en realidad es un movimiento milenario. El concepto de la especificación y la necesidad de una razonable uniformidad en la producción de ciertos artefactos pueden encontrarse, mediante técnicas arqueológicas modernas, en nodos de civilización tales como la China imperial, Babilonia, Egipto Antiguo y el Imperio Romano [Abdel-Hamid1990, Li2001, Lawlis1995].

En forma mucho más reciente, en Francia hacia los siglos XVII y XVIII, las más modernas técnicas de ingeniería se aplicaban a la industria naviera de entonces, donde empezaron a utilizarse conceptos como la selección de proveedores basados en costo, capacidad de entrega y habilidad para ajustarse a las especificaciones.

Pero no fue hasta mediados del siglo XX cuando las bases fundamentales de la gestión de calidad, tal como se las conoce hoy, fueron establecidas desde el ámbito académico a partir del trabajo de W. Edwards Deming y J.M. Juran. Sus conceptos fueron mayormente tratados como una rareza teórica hasta que en la década de los sesenta Iwau Wanabe implementó en Japón el primer círculo de calidad en NTT Corp, encendiendo una revolución que llevaría a la adopción masiva de estos conceptos primero en Japón y luego en el resto del mundo [Juran1990, Juran1995]. Fue a partir del liderazgo adoptado por Japón que en las postrimerías de la década de los setenta y comienzos de la de los ochenta, la *gestión de calidad* (o también llamados conceptos de “*calidad total*”) alcanzó su madurez utilizando metodologías, herramientas y conceptos sistémicos a partir de los cuales dejó definitivamente el ámbito académico y se propagó al ámbito industrial.

La necesidad de identificar claramente el mecanismo de implementación de la gestión de

calidad llevó, hacia fines de la década de los ochenta y principios de la de los noventa, a la creación de sistemas de calidad que dieran un marco formal, apropiado y riguroso a la utilización de tecnologías de gestión de calidad, entre otros, el ahora sumamente difundido modelo ISO-9000, modelos derivados, relacionados y similares [Clouse2008].

Sin embargo, las normas ISO-9000 proveen un marco de referencia demasiado general para las particularidades de la industria del desarrollo de software y por lo tanto es necesaria la utilización de modelos derivados a partir de conceptos de *ingeniería de software* [McGuire2001].

El modelo conceptual representado en la Figura 1-1 muestra que los proyectos de software pueden entenderse como un sistema en equilibrio entre tecnología, recursos y procesos. Los modelos de madurez en general, y el SEI-CMMI™ en particular, parten de la premisa que la mejor forma de gestionar este sistema es a partir del uso de mejores técnicas de gestión sustentadas en la mejora de procesos [Boehm1981, Butler1995, Card2002].

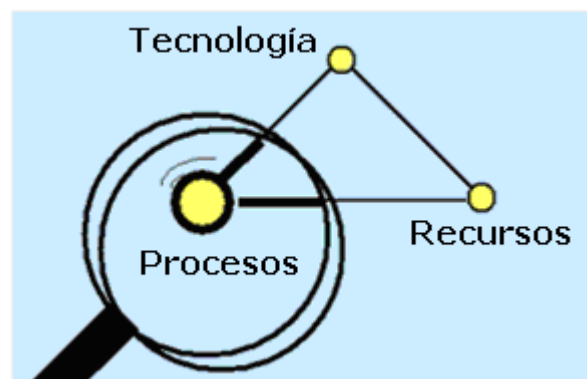


Figura 1-1 Foco del modelo de madurez de capacidades integrado (Fuente: <http://www.sei.cmu.edu>)

Inicialmente, las agencias del Gobierno de Estados Unidos de América adoptaron el modelo provisto por estas metodologías como un medio para evaluar durante la fase de adquisición de contratos las capacidades de desarrollo de los oferentes, con la esperanza de lograr de esa forma controlar los riesgos históricamente asociados con proyectos de desarrollo de software tales como incumplimiento de plazos, excesos de costo y defectos entregados, todos ellos endémicos en este ámbito. Con el correr del tiempo, no sólo agencias gubernamentales de Estados Unidos sino la industria en general, han visto crecientemente la evaluación a partir del modelo SEI-CMMI™ como un requisito necesario para realizar negocios, en particular en instancias de proyectos de gran envergadura o de alto riesgo.

Las pequeñas empresas proveedoras de software que desean tener roles protagónicos en este contexto, se ven entonces en la poco envidiable posición de tener que invertir en procesos de mejora de software percibidos a menudo como costosos [Basili1978, Herbsleb1996, Brodman1995,

[Brodman1997, Brodman2000, Guerrero2004]. Estos procesos de mejora de software tienden a tener un costo básico que es significativo y que debe ser aceptado por la empresa para poder iniciarlos, independientemente de su tamaño. Esa característica será uno de los objetos de investigación pues termina determinando los patrones de comportamiento organizacional respecto a la realización de inversiones en SPI.

Esto ocurre porque la sobrecarga aceptada por negocios pequeños es proporcionalmente superior a la que experimentan organizaciones más grandes que tienen mayor masa crítica y capacidad de inversión para absorber estos incrementos.

Al mismo tiempo, las compañías de pequeño tamaño enfrentan la realidad de volverse menos competitivas frente a otras compañías de tamaño similar que no están realizando inversión alguna en SPI. En realidad, muchos de los problemas encontrados por compañías pequeñas son también pertinentes a los sectores o unidades de negocios aisladas de las empresas grandes, las cuales sufren consideraciones similares [Brodman1996, Otoyá1999].

El SEI provee datos sobre la adopción del modelo SEI-CMMI™ en función del tamaño de las organizaciones. Un ejemplo de la distribución al año 2006 puede verse en la Figura 1-2 donde más del 57% de las organizaciones tienen tamaños superiores a las cien personas y más del 37% superior a trescientas personas.

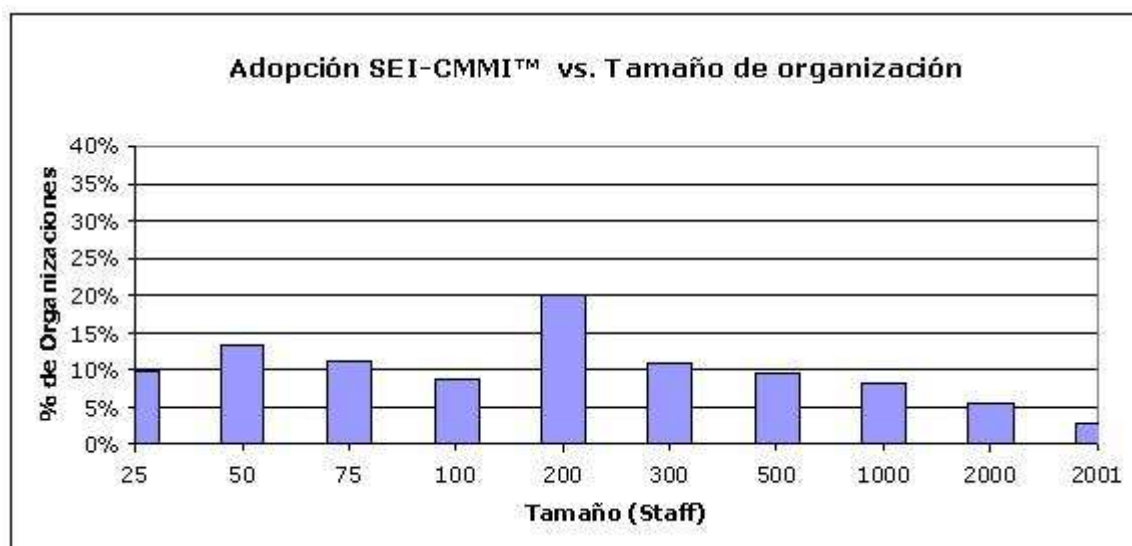


Figura 1-2 Distribución de organizaciones que adoptaron CMMI por tamaño [SEI2006]

Junto a otros factores de tipo tecnológico, esto ha provocado una cierta demora en la adopción masiva del modelo SEI-CMMI™, o cualquier otra alternativa equivalente, tanto en empresas a nivel nacional (que en general son de tamaño pequeño o mediano) como internacionales,

dedicadas a proveer prácticas en ingeniería de software.

Al mismo tiempo, el contexto de negocios en el que se desenvuelven las organizaciones en un mundo globalizado depende críticamente de la madurez de las habilidades tecnológicas y procesos en sus empresas proveedoras para enfrentar desafíos crecientemente complejos. Queda claro, entonces, que poder demostrar estas habilidades se transforma en un factor crítico de éxito [Humphrey1989a, Humphrey1995, Jones1994, Jones1995, Krishnan1999]. La tensión entre ambas tendencias contrapuestas motiva que las organizaciones tiendan a la adopción del modelo SEI-CMMI™, primero como un instrumento de evaluación y luego de diferenciación competitiva. En ocasiones, esto desdibuja el objetivo principal de las iniciativas, que debería ser la mejora del proceso como una fuente de competitividad y rentabilidad en sí misma. [Britcher1999, DeMarco1986, DeMarco2003].

1.2. Estado del arte

Los modelos de madurez en general, y el SEI-CMMI™ en particular, definen con precisión qué condiciones y objetivos deben cumplir los distintos procesos de desarrollo, de forma de satisfacer grupos de mejores prácticas llamadas *áreas de proceso* (*process areas* PA). Establecen, además, el proceso formal de verificación del cumplimiento a partir de la definición de los métodos específicos de evaluación y la certificación de los profesionales que los realicen. El modelo de madurez actúa entonces como una referencia que integra las mejores prácticas de ingeniería de software, y define las condiciones de utilización sistemática y rigurosa bajo la hipótesis conceptual que mediante su aplicación los resultados técnicos deberán necesariamente mejorar.

Los resultados técnicos son, a su vez, regularmente acompañados por los resultados generales del negocio [Grady1992, Gibson2006]. El modelo SEI-CMMI™, o su antecesor SW-CMM, no hacen esfuerzo alguno para modelar o dar marco conceptual al tipo ni magnitud de mejora esperados por su aplicación [Harrison2001b].

Diferentes autores que formulan críticas a este enfoque, insisten en la necesidad de no descuidar aspectos de índole tecnológica y de sistemas que SEI-CMMI™ tiende a no considerar relevantes [Boehm2000a, McGuire2001, Glazer2008]. En todo caso, el modelo SEI-CMMI™ tampoco hace consideración alguna sobre el contexto organizacional o de negocios que resulte preferencial para su aplicación.

El modelo de madurez propone definir el estado de las prácticas implementadas en una determinada organización a partir de agrupaciones de PAs en niveles de madurez. Cuando la organización demuestra fehacientemente, bajo los criterios de evaluación, la implementación de las respectivas PAs se la evalúa en el nivel de madurez correspondiente. Las organizaciones que no

acreditan ninguna PA corresponden al Nivel 1 o inicial.

La Figura 1-3 muestra la progresión de niveles de madurez desde el primero o inicial, hasta el más alto, representado por el Nivel 5 u *Optimizado*. La progresión es acumulativa puesto que las organizaciones deben acreditar en cada nivel la satisfacción de los requisitos de todos los anteriores. En el Capítulo 2 se abordará con más detalle las condiciones que debe satisfacer una organización para ser evaluada en cada nivel y los mecanismos involucrados.

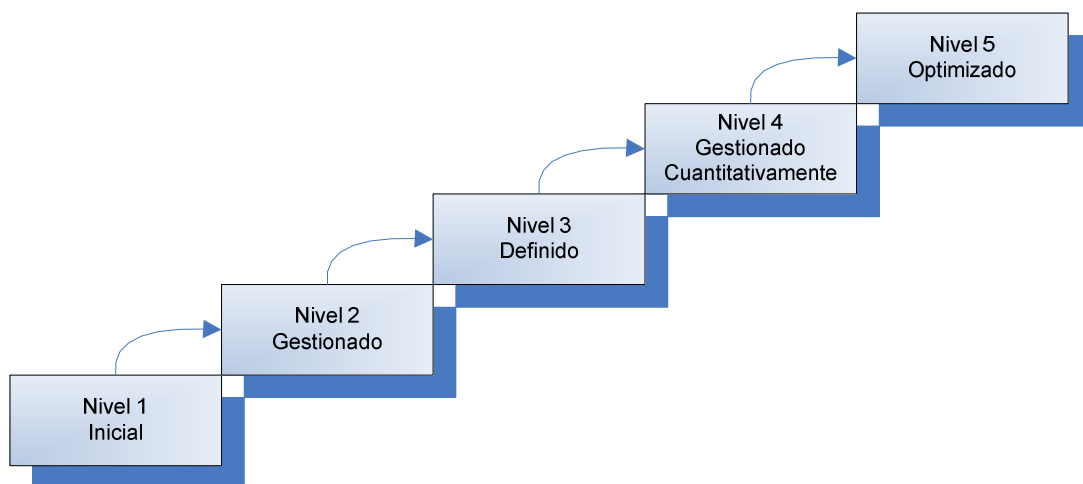


Figura 1-3 Niveles de madurez del modelo SEI-CMMI(TM) [SEI2009]

La industria ha generado abundantes casos de estudio sobre el comportamiento dinámico de las distintas áreas afectadas por el modelo SEI-CMMI™ y las mejoras que son esperables con distintos grados de aplicación del mismo. Curiosamente, incluso la decisión misma de encarar la adopción del modelo SEI-CMMI™ produce mejoras, aunque la validación formal de la madurez de procesos finalmente no se alcance [Dion1993, Gibson2006]. Solamente comprender los procesos que una organización emplea puede ser, en si mismo, una fuente de mejora [Harrison2004].

Existe, entonces, una razonable base de evidencia empírica que permite inferir que las mejoras son reales, sustantivas y tangibles en prácticamente todos los aspectos de proceso cubiertos por el modelo. Por otra parte, estas mejoras también se propagan al funcionamiento de la organización como un todo.

El SEI nos provee evidencias que la aplicación de las mejores prácticas conduce a resultados con menor incertidumbre, mayor consistencia y mejor calidad general [Hayes1995, SEI2005], según puede apreciarse en la Tabla 1-1. Para diferentes categorías de desempeño que las organizaciones intentan optimizar, tales como costo, cumplimiento de calendario, productividad, calidad, satisfacción del cliente y retorno de la inversión, se relevan las mejoras mínimas, máximas y la mediana de las mejoras obtenidas para un número significativo de casos de estudio.

Categorías de Desempeño	Mediana	Casos	Minimo	Máximo
Costo	20%	21	3%	87%
Calendario	37%	19	2%	90%
Productividad	62%	17	9%	255%
Calidad	50%	20	7%	132%
Satisfacción de Cliente	14%	6	-4%	55%
Retorno de la Inversión	4.7	16	2	27.7

Tabla 1-1 Mejora de Performance aplicando SEI-CMMI [SEI 2005]

Por otra parte, se observa al revisar la literatura, que no se detectan esfuerzos para integrar estos resultados en un único modelo sistémico de evaluación de la inversión en SPI que permita unificar los distintos factores. En caso de disponer de modelos de este tipo, se podría operar en etapas preliminares de planeamiento, ideando rutas de mejora que hagan más predecible el esfuerzo y los resultados de la inversión. Las principales beneficiarias de instrumentos de este tipo son las pequeñas o medianas empresas en su esfuerzo de insertarse como participantes en la industria a nivel global. Son claros ejemplos en este sentido las compañías de estas características en India e Irlanda [Murugappan2003, McFall2003].

Al no existir una metodología de valuación económica-financiera que permita medir el retorno de la inversión debido a la mejora en el proceso, es muy difícil cuantificar la prioridad de alcanzar un grado de madurez dado, excepto en la forma muy primitiva de asumir que la empresa existe si alcanza su objetivo y no lo hace en caso contrario.

El concepto de priorizar las inversiones en SPI a partir de un planteo de supervivencia ha sido el modelo conceptual de los adoptadores tempranos (“early adopters”). Sin embargo esa forma de justificar las inversiones en SPI está entrando en una fase de agotamiento en la medida que alcanzar niveles específicos del modelo SEI-CMMI™ deja de ser un factor de diferenciación para ser un requisito básico, pues una parte significativa de la industria ha aceptado su aplicabilidad y perseguido su adopción.

1.3. Fuentes de mejora

Numerosos ejemplos en la bibliografía nos permiten asumir que el proceso de desarrollo de software será progresivamente más efectivo a medida que se avance en el nivel de madurez. Se estará en condiciones de reducir el *costo de calidad* (*cost of quality* CoQ), que se define como el costo total invertido en asegurar la calidad del software, a partir de evaluar la existencia de defectos, prevenir su inclusión cuando sea posible y repararlos cuando no lo es. El *costo de reparación* recibe el nombre de *costo de calidad pobre* (*cost of poor quality*, CoPQ) y su reducción será directamente

proporcional al nivel de madurez, debido a que el producto se hace “bien” la primera vez, logrando producir software de calidad, en tiempo y dentro de presupuesto [Knox1993]. No es exagerado asociar en forma directa el CoPQ con el desperdicio en modelos de procesos industriales más tradicionales [Eickelmann2004].

Esto crea el marco conceptual mediante el cual la mejora de procesos puede verse reflejada en resultados financieros concretos. Sin embargo, la conexión cualitativa es ambigua a menudo y la cuantitativa rara vez explicitada.

Los estudios sobre la relación entre nivel de madurez, calidad de producto, satisfacción de clientes y productividad no siempre tienen lazos estadísticamente significativos. Sin embargo, muestran que todas las relaciones se mantienen en la dirección de mejora “correcta” en la medida que el nivel de madurez se incrementa [Herbsleb1996, Goldenson1998].

Se utilizarán las formulaciones teóricas y la evidencia empírica para modelar las consecuencias de la inversión en SPI en los negocios y sus resultados a partir de los principios básicos de análisis financiero. Se trabaja a partir de la relación del rendimiento de un negocio con el valor estimado que éste tiene, pues el valor depende del flujo de fondos que es capaz de producir [Groppelli1995, Brealey2000].

Por otra parte, en negocios en general, y en organizaciones de software en particular, el valor estimado será críticamente dependiente del *costo de oportunidad*, y éste estará definido por la *incertidumbre* en alcanzar sus objetivos [Harrison2001a]. Se sostiene en este trabajo que la incertidumbre se traduce en riesgos, y la visión moderna de negocios reclama compensaciones adicionales cuando éstos existen y acepta reducir retornos cuando éstos disminuyen.

La consideración del riesgo al evaluar la inversión en SPI difiere de los enfoques habituales, donde lo que se computa como retorno de la inversión es un resultado de las mejoras introducidas en el proceso de creación de software y la mejor performance que la organización obtiene al hacerlo. En este trabajo se propone que, además, se consideren los activos de negocios que se relacionan con el software bajo desarrollo y cómo resultan beneficiados por las inversiones realizadas en SPI. Es natural, entonces, que deba formularse un puente conceptual que intente, con un enfoque sistémico, mostrar las relaciones entre las mejoras de procesos y los resultados de negocios en una forma integrada.

Aún no ha sido formulado, al presente, un marco integrador públicamente accesible que relacione estos factores, y será, en consecuencia, uno de los objetivos del esfuerzo de investigación reflejado en este trabajo.

1.4. Definición del problema

Iansiti [Iansiti2003] asegura que en las organizaciones de alta tecnología, la única constante es el “cambio constante”. En ellas, el factor tecnológico se caracteriza por su gran dinamismo y mutabilidad. Las características inherentes a los esfuerzos de mejora de procesos condicionan la gestión de los mismos, haciendo que tengan que desenvolverse en un entorno caracterizado por:

- Demandas contrapuestas y contradictorias sobre alcance, tiempo, costo, riesgos y calidad.
- Participantes organizacionales con diferentes necesidades y expectativas.
- Requerimientos poco identificados y definidos.
- Poca claridad sobre posibles hojas de ruta para alcanzar el objetivo.

En función a lo expuesto, el problema abordado por esta tesis puede resumirse en intentar responder las siguientes preguntas:

1. ¿Qué factores claves gobiernan las iniciativas SPI basadas en SEI-CMMI™ y como se relacionan entre si?

Esta pregunta plantea la necesidad de entender qué factores claves internos de las organizaciones o de su contexto definen los resultados de las inversiones en SPI y cuales son las relaciones sistémicas entre ellos. El enfoque a utilizar es el desarrollo de un modelo teórico, su calibración mediante estudios de campo cuantitativos, preliminarmente realizados en el ámbito de Argentina, y la validación formal inicial del modelo.

2. ¿Qué rangos de valores en estos factores impulsan el éxito de las inversiones en SPI?

Esta pregunta se concentra en comprender cuál es la sensibilidad del resultado de la inversión en SPI a los distintos factores claves identificados en la pregunta anterior. La evaluación con técnicas de simulación del modelo formulado permitirán contestar la pregunta.

3. ¿Qué estrategias pueden adoptar las organizaciones para mejorar sus chances de tener éxito en sus inversiones en SPI?

Esta pregunta se concentra en comprender qué estrategias organizacionales pueden ser adoptadas para mejorar las probabilidades de éxito en las iniciativas SPI.

La respuesta a estas preguntas constituye la principal contribución de este trabajo.

1.5. Contribuciones de esta investigación

El objetivo de esta tesis es investigar formas de modelar el comportamiento de las organizaciones cuando realizan esfuerzos en SPI, los factores de los cuales depende el resultado de este esfuerzo y qué estrategias pueden utilizarse para mejorar las probabilidades de éxito en las iniciativas. Para lograr este objetivo, la tesis provee contribuciones originales en la teoría y conocimiento práctico, a saber:

1. Un modelo dinámico de la inversión en SPI construido a partir de técnicas de evaluación económico-financiera mediante la utilización del *valor presente neto* (VPN) como instrumento para medir resultados.
2. La recolección de los factores claves que impulsan el esfuerzo y definen su éxito.
3. Análisis de perfiles de las organizaciones que desarrollan software en Argentina, en lo que respecta a la aplicación de iniciativas SPI, y la identificación de los diferentes factores que caracterizan estos esfuerzos, a partir del procesamiento de la información contenida en la encuesta 2007 realizada por la *Cámara Argentina de Empresas de Tecnología de Información de Argentina* (CESSI).
4. Análisis de perfiles en una muestra de organizaciones que han abordado esfuerzos de SPI basados en SEI-CMMI™ en Argentina.

Como resultado de las distintas etapas de la investigación se produjeron las siguientes contribuciones al cuerpo de conocimientos local e internacional en los temas bajo estudio:

Artículos en Revistas Especializadas

[Colla-Montagna2008a] Colla, P.E.; Montagna, J.M. *Framework to Evaluate Software Process Improvement in Small Organizations*. Lecture Notes in Computer Science. ISSN 0302-9743 Pages 36-50. Presentado originalmente en el “International Conference on Software Process” (ICSP 2008) realizado en Leipzig, Alemania (2008).

[Colla-Montagna2008b] Colla, P.E.; Montagna, J.M. *Evaluation of Software Process Improvement in Small Organizations*. Lecture Notes in Business Information Processing ISSN 1865-1348 Volume 16 Pages 59-72. Presentado originalmente en el SEAFOOD 2008, Second International Conference on Software Engineering Approaches For Offshore and Outsourced Development realizado en Zurich, Suiza (2008)

Artículos en Congresos y Conferencias

[Colla-Montagna2005] P. Colla y J. Montagna: Un contexto para la formulación de modelos

sistémicos para el análisis de mejoras en procesos para desarrollo de software; Anales 34as JAIIO, ISSN 1666-1141 (general), ISSN 1666-1087 (ASSE) (2005)

[Colla2006] [P.Colla](#): Marco Extendido para la Evaluación de Iniciativas de Mejora en Procesos en Ingeniería de Software. Pag. 67-74 Anales JIISIC 2006 (Puebla, México) ISBN 970-94770-0-5

[Colla-Montagna2006] [P. Colla y J. Montagna](#): Esfuerzos de Mejora de Procesos de Software en Pequeñas Organizaciones. Anales 35as JAIIO (ASSE) (Mendoza, Argentina). ISSN 1666-1087 (ASSE)

[Colla-Olsina2006] [P. Colla y L. Olsina](#): Ontología de Métricas e Indicadores para Implementar CMMI. Anales 35as JAIIO (ASSE) (Mendoza, Argentina) ISSN 1666-1087 (ASSE)

[Colla-Martinez2007] [P. Colla y E. Martinez](#): Reinforcement Learning en Problemas de Planeamiento con Restricciones.-JIISIC'07, (Lima, Perú). ISBN 9789972288517 p459-466.

[Colla-Montagna2008c] [P.Colla y J. Montagna](#) *Modelado de Mejora de Procesos de Software en Pequeñas Organizaciones*; JIISIC 2008 (Quito, Ecuador). Memoria técnica VII Jornadas Iberoamericanas de Ingeniería de Software e Ingeniería del Conocimiento. ISSN: 1390-292X

[Colla-Montagna2008d] [P.Colla y J. Montagna](#) *Software Process Improvement Behavior of Small and Medium Organizations in Argentina* CACIC'08 (Chilecito, Argentina, 2008).

Presentación en foro de expertos

[Colla-Montagna2008e] [P.Colla y J. Montagna](#) *Evaluation of SPI Efforts in Small & Medium Organizations* Ponencia en 2do Workshop High Maturity Measurement and Analysis organizado por SEI-Carnegie Mellon University (Denver, Co, USA, 2008).

[Colla-Montagna2009] [P.Colla y J. Montagna](#) *Evaluation of SPI Efforts in Small & Medium Organizations* Ponencia en 3er Workshop High Maturity Measurement and Analysis organizado por SEI-Carnegie Mellon University (San José, Ca, USA, 2009).

Los contenidos de ambas presentaciones son además documentados en el reporte técnico del SEI-Carnegie Mellon denominado “Approaches to Process Performance Modeling: A summary from the SEI Series of Workshops on CMMI High Maturity Measurement and Analysis” (En Prensa).

1.6. Metodología de investigación

El esquema de investigación utilizado para desarrollar esta tesis puede ser visto en la Figura 1-4 y se compone de dos etapas.

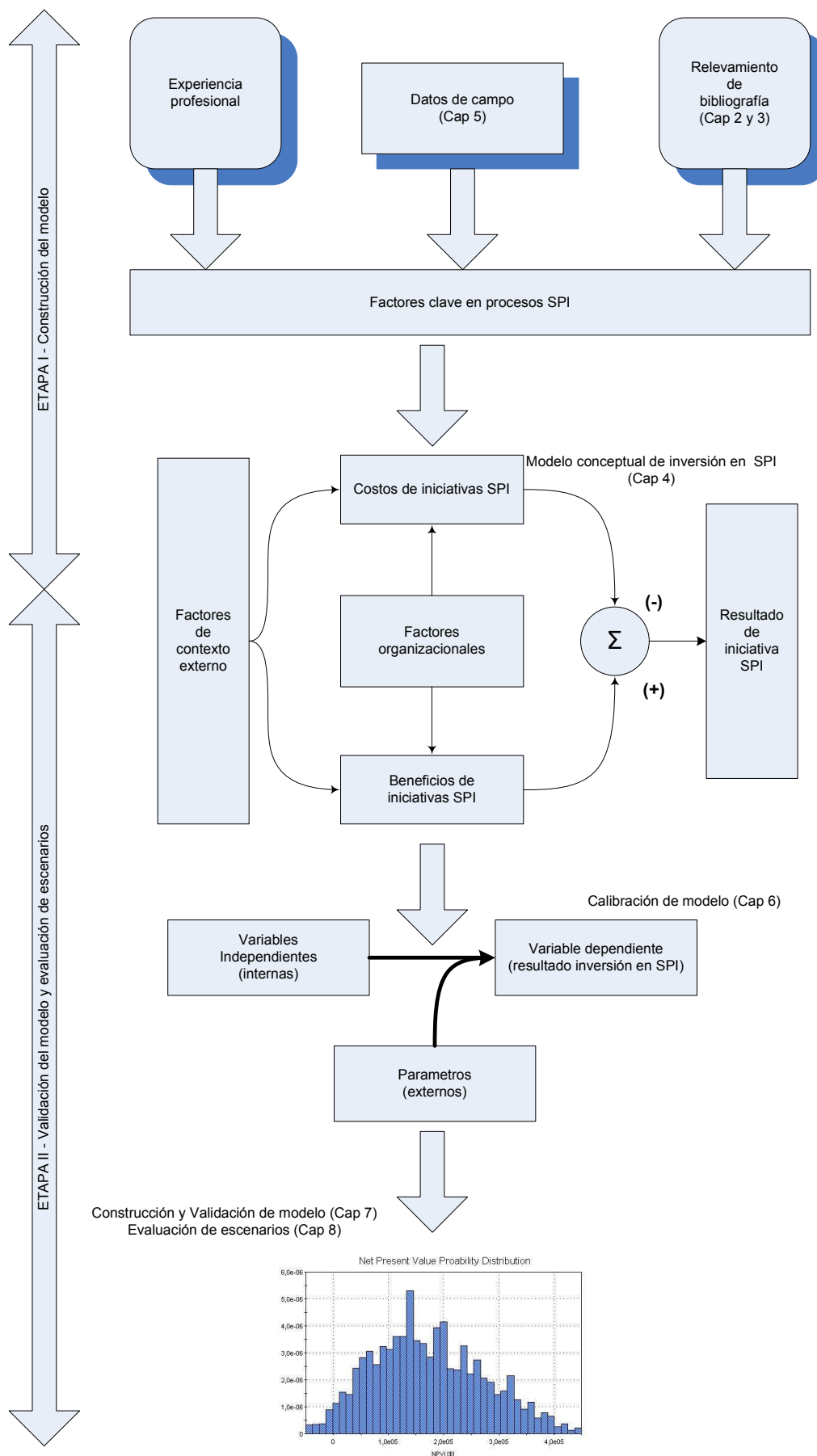


Figura 1-4 Método esquemático de investigación

En la ETAPA I, se *construye* un modelo, comenzando por la identificación de *factores claves* en procesos SPI a partir de la experiencia profesional, observaciones en los casos de campo estudiados y relevamiento de la bibliografía.

Estos factores claves se integran en un modelo dinámico, que se construye utilizando los costos y beneficios que la inversión produce como marco de su análisis, los que a su vez son definidos por los factores de contexto externos y las decisiones organizacionales. Los costos y beneficios son considerados de acuerdo a técnicas de análisis económico-financiero donde interviene la ponderación de tiempo y riesgo involucrados, de manera de poder pronosticar el éxito o fracaso proyectado de la iniciativa SPI. Se adopta como premisa de trabajo que una organización actuará racionalmente y sólo se embarcará en una inversión para implementar SPI bajo el supuesto que ésta será rentable.

En una segunda etapa (ETAPA II) se propone la utilización del modelo, para lo cual la primera acción es realizar su *calibración*, es decir, utilizar datos de campo para elaborar las definiciones operativas de los factores externos y organizacionales utilizados. En general se asociarán factores de contexto externo a parámetros, y factores organizacionales a variables independientes.

Antes del uso del modelo, es necesario proceder a su *validación*, es decir, aplicar las metodologías apropiadas de forma de entender si los resultados obtenidos son capaces de pronosticar el comportamiento real de organizaciones.

Finalmente el modelo definido es implementado mediante herramientas apropiadas, donde es posible validar su aplicabilidad y analizar escenarios para cubrir los objetivos de investigación definidos previamente. Para ello se realizará la *ejecución* del modelo en una matriz de casos relevantes a los objetivos de la investigación, de manera de poder realizar inferencias sobre su comportamiento.

Estas dos etapas combinan, entonces, aspectos de investigación de los procesos y de los factores que los influyen. La primera etapa se concentra en extraer comportamientos dinámicos usando elementos cualitativos, mientras que la segunda etapa se focaliza en extraer y validar relaciones causales entre distintos factores a partir de evidencia cuantitativa.

Se adopta la *organización* como la unidad para el análisis de los esfuerzos de mejoras de procesos. Se define como organización a la compañía o unidad de negocios independiente dentro de otra compañía dedicada al desarrollo de software, y sobre cuyos resultados se medirá el retorno de la inversión.

La República Argentina se define como el alcance inicial de interés donde será conducida esta investigación. Se incluirán organizaciones tanto públicas como privadas en el ámbito nacional.

La investigación de los procesos se basa fundamentalmente en identificar desde la bibliografía, datos de campo y la experiencia profesional, qué factores intervienen en el caso de inversión en una iniciativa para desplegar SPI.

Por otra parte, la investigación de factores se sostiene en dos esfuerzos de recolección de datos, complementarios entre sí, sobre el perfil y comportamiento respecto a SPI de organizaciones en Argentina.

El perfil de las organizaciones es obtenido utilizando la encuesta 2007 elaborada por la (CESSI), que incluyó, con alcances cercanos a un censo, a la mayoría de las organizaciones abocadas al desarrollo de software en Argentina. Debido a estas características, es un instrumento de mucho *poder estadístico* para realizar inferencias útiles a este trabajo a pesar que la posibilidad de influenciar su diseño fue nula. Por lo tanto la resolución que provee sobre las distintas variables de interés es limitada, aunque como veremos, suficiente para arribar a conclusiones significativas.

Una segunda encuesta fue realizada como parte de esta investigación, mediante una iniciativa en conjunto con la CESSI, entre las organizaciones que realizaron esfuerzos en SPI basados en SEI-CMMI™. Este relevamiento provee información rica y profunda sobre la naturaleza de los esfuerzos en SPI y los principales factores que los gobiernan. Sin embargo, el número relativamente reducido de organizaciones en Argentina con estas características, y dentro de ellas, las que proveyeron información para el análisis, limita la potencia estadística del instrumento. Aún así, con las reservas de validez que oportunamente se documentarán, provee información significativa previamente no disponible sobre el comportamiento SPI de las organizaciones en Argentina.

Las características del modelo desarrollado son de índole general, por lo que se supone aplicable en cualquier escenario global descrito en la bibliografía. Sin embargo, al ser calibrado en base a datos de Argentina, deberá tomarse como una implementación preliminar del mismo.

1.7. Esquema de la tesis

La tesis está organizada en nueve capítulos y apéndices. La presente introducción conforma el Capítulo 1.

En el Capítulo 2 se desarrolla el marco teórico en SPI, conformado por los temas que sustentan los aspectos posteriormente referenciados en el análisis de perfiles de organizaciones. Se exploran, además, las dependencias geográficas y las particularidades de las inversiones en SPI realizadas por pequeñas y medianas empresas.

En el Capítulo 3 se aborda metodológicamente la construcción y validación de modelos dinámicos. Además del marco de construcción, también se revisan modelos relevantes en el campo

de ingeniería de software, y en particular, algunos ejemplos próximos utilizados en el modelado de esfuerzos de SPI donde se estudia el impacto de SEI-CMMI™ en variables organizacionales clave.

En el Capítulo 4 se despliega un modelo de inversión en SPI a partir de las fuerzas y factores que operan en la organización y su contexto. Además, se estudian y proponen hipótesis sobre relaciones entre los distintos parámetros, variables independientes y dependientes propuestas.

En el Capítulo 5 se presentan los resultados obtenidos a partir del procesamiento de la información obtenida en una encuesta a nivel nacional, patrocinada por la CESSI y llevada a cabo en el año 2007 por el *Observatorio Pyme* de Argentina. En base a la relación de esta encuesta con preguntas e hipótesis de este esfuerzo de investigación, es posible caracterizar el perfil de las organizaciones en Argentina respecto a esfuerzos de mejora de procesos de software.

En el Capítulo 6, se definen y muestran los resultados de un trabajo de campo destinado a relevar el perfil detallado de los esfuerzos SPI realizados por organizaciones de software en Argentina. A partir de ese análisis se derivan comprobaciones estadísticas de relaciones y dependencias entre variables independientes y dependientes relevantes a este esfuerzo.

En el Capítulo 7 se realiza la construcción o programación del modelo. Para hacerlo, se proponen para los distintos factores intervinientes cuáles son los rangos de valores, distribuciones y otras definiciones operativas necesarias para completar la formulación, así como su representación en la herramienta seleccionada. Se despliegan las metodologías de verificación, validación, y los aspectos de construcción del modelo utilizando una herramienta concreta. Se utilizan en la validación los resultados obtenidos mediante el relevamiento de campo del capítulo anterior.

En el Capítulo 8 se evalúa, en diferentes escenarios, la sensibilidad de los resultados a factores individuales. Se complementa posteriormente con el estudio de algunas estrategias básicas que permitan analizar cómo incrementar las probabilidades de éxito del esfuerzo SPI.

Finalmente, en el Capítulo 9 se abordan la discusión e implicaciones del trabajo realizado así como conclusiones tanto de carácter general como particular.

La información que se ha considerado como de referencia ha sido incluida en diferentes apéndices.

"El software es un lugar donde se plantan sueños y se cosechan pesadillas, un pantano mítico y abstracto donde demonios terribles compiten con soluciones mágicas, un mundo de lobizones y balas de plata"

B.Cox.

Capítulo 2 Mejoras en procesos de software

Este capítulo explora el concepto de calidad en software y cómo el enfoque moderno en este campo entiende que las mejoras deben provenir primariamente de esfuerzos en SPI. En este marco se exploran resumidamente los principales métodos para desplegar y evaluar los resultados de SPI. Para ello, se relevan los resultados de su aplicación por parte de organizaciones desarrolladoras de software, a partir de fuentes bibliográficas que describen los elementos del contexto y marco teórico del problema que deben ser tenidos en cuenta.

Para finalizar, se relevan dos aspectos claves sobre las inversiones SPI, como son la aplicabilidad a organizaciones PyMEs y la influencia de factores geográficos. Ambos se consideran significativos para tener en cuenta las diferencias entre las organizaciones del ámbito argentino, donde se relevan las evidencias empíricas de esta investigación, y las organizaciones típicamente encontradas en los principales mercados globales.

2.1. Introducción

Es motivo de debate hasta qué punto las metodologías y enfoques modernos de calidad son aplicables a la construcción de software. En principio, el énfasis en ingeniería de software de asignar la calidad del resultado al proceso utilizado es compartido con otras disciplinas. Pero, al mismo tiempo, no es posible aplicar el concepto clásico de los principios de control de calidad basados en cumplir con límites de tolerancia previamente definidos.

Los métodos de calidad tradicional se enfocan principalmente en el proceso de creación o manufactura de un determinado bien y los efectos físicos que son observables como su resultado.

El desarrollo de software es conceptualmente diferente, pues está asociado a la creación de estructuras simbólicas y los efectos cognitivos que éstas producen, los que no siempre pueden ser objeto de medición física. Es, por lo tanto, necesario discutir las características del software como producto y del proceso utilizado para su creación.

Los procesos industriales convencionales y los procesos de software comparten las mismas posibilidades de intervención. Éstas son:

- **Evaluación.** Implica revisar el proceso sin operar cambios sobre él.

- **Mejora.** Consiste en producir cambios continuos o incrementales en el proceso.
- **Innovación.** Consiste en cambios bruscos y radicales en el proceso o la organización que lo utiliza.

Al intervenir sobre un proceso se busca fundamentalmente lograr mejoras en una o más variables que definan su performance. Visto en el tiempo, la aplicación sucesiva de acciones de intervención tiene resultados sobre la performance del proceso que se quiere mejorar. Un posible ejemplo se muestra en la Figura 2-1.

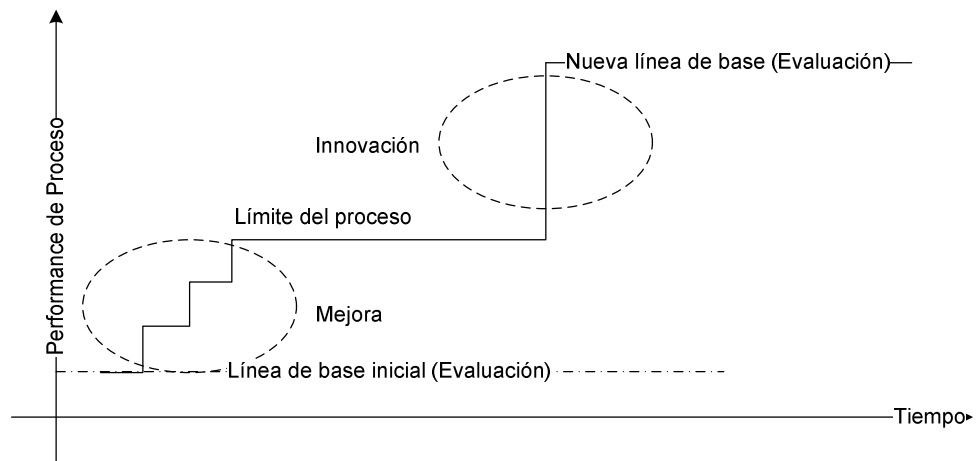


Figura 2-1 Cambios de performance de proceso con mejora e innovación.

El proceso es evaluado y se identifica su nivel inicial de performance, el cual operará como referencia de las intervenciones a realizar para determinar la magnitud de las mejoras obtenidas. A este nivel de performance se lo denomina *línea de base*. El factor denominado en este ejemplo como performance es cualquier resultado del proceso que se desee mejorar.

Las mejoras de proceso producen un patrón característico de pequeños cambios sucesivos en un período relativamente corto, que conducen finalmente a un aplanamiento de la tasa de cambio en la performance. Se dice que se llega, en estos casos, a los *límites del proceso*, es decir, a la máxima performance que éste puede entregar.

Al introducir acciones innovadoras, la performance de proceso experimenta un salto brusco y significativo en los resultados obtenidos. Típicamente, el resultado de la innovación se utiliza para establecer la nueva línea de base del proceso.

2.1.1. Proceso de software

El proceso define la forma en que el desarrollo y el mantenimiento del software se organiza, gestiona, mide, soporta y mejora [Feiler1993, Davenport1993, Montangero1999]. Fuggetta [Fuggetta2000] describe el proceso de software en términos de “*un conjunto coherente de políticas, estructuras organizacionales, tecnologías, procedimientos y herramientas que son necesarios para*

concebir, desarrollar, desplegar y mantener un producto de software". Dowson [Dowson1993] nos aporta incluso la visión que *"todo trabajo en el proceso de software termina orientado a la evaluación y mejora continua del proceso"*.

Con este marco, las organizaciones terminan comprendiendo, gradualmente, que la clave para la exitosa ejecución de desarrollos de software, esto es, con la calidad esperada, en tiempo y dentro de presupuesto, es la efectiva gestión de las acciones a partir de un proceso definido. Este concepto no es otro que la premisa conceptual en la que se basa SEI-CMMI™, donde se considera que *"la calidad de un producto de software está mayormente impulsada por la calidad del proceso utilizado para desarrollar y mantenerlo"* [Paulik1995].

Cualquier resultado observable del proceso de software para la organización que lo utiliza, tal como el tiempo de desarrollo, el costo o la satisfacción del cliente, pueden ser entonces explícitamente expresados mediante una relación de causalidad:

Calidad (Proceso) → Calidad (Resultado)

Sin embargo, el mismo cambio en el proceso aplicado a diferentes organizaciones no produce cambios similares en el resultado. Esta relación dependerá de un número de factores internos de la organización involucrados en el cambio, así como otro número de factores externos establecidos por el contexto en que ésta opera.

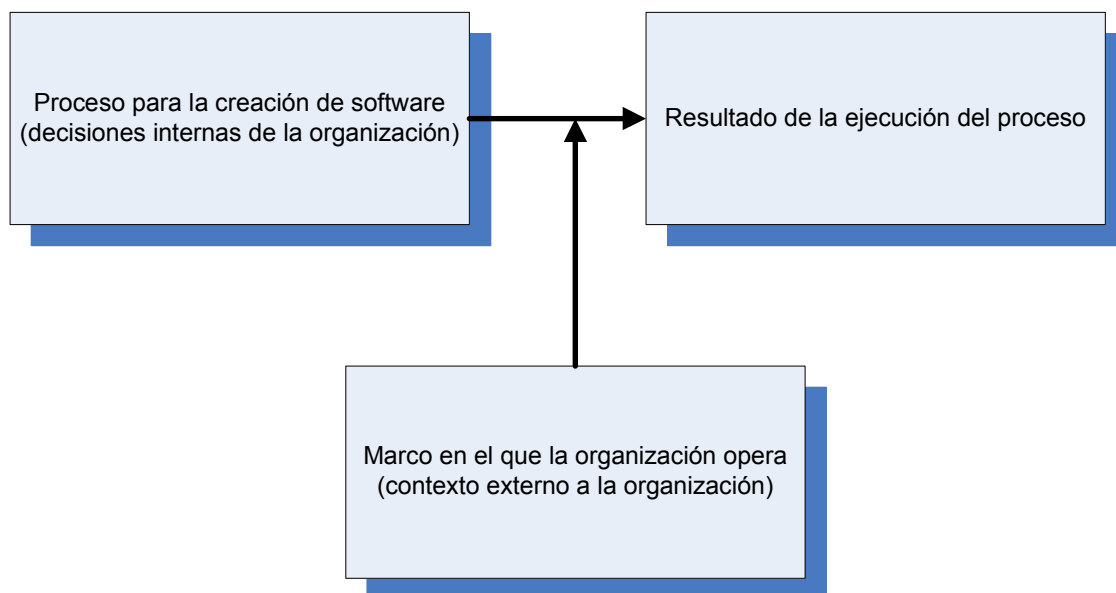


Figura 2-2 Relación entre factores internos y externos con el resultado de uso de proceso de software

Esta condición puede verse esquemáticamente en la Figura 2-2. Cualquier esfuerzo de modelado sobre el resultado de un proceso de creación de software consistirá, entonces, en definir

para un determinado propósito o resultado deseado cuáles son los factores internos y de contexto que lo influyen, así como las relaciones de causalidad que operan.

Al identificarlos será posible entender qué rango de decisiones internas y qué factores de contexto conducen al resultado que la organización desea alcanzar.

2.1.2. Modelos de proceso

Los modelos de procesos son guías marco que ayudan a definir los procesos que una organización debe desplegar para un uso en particular. De esta forma, ayudan a una organización a comprender los elementos constituyentes de tal manera que pueda efectivamente comunicarse y guiar su implementación [Conradi1992, Madhavji1991]. Típicamente proveen una descripción abstracta de las tareas de desarrollo, sus interdependencias y las herramientas conceptuales que deberían estar involucradas en su ejecución.

En general, el valor de un proceso consiste en permitir ser utilizado como un patrón que incorpora estructura a un conjunto de actividades que no necesariamente la tiene [Parnas1986]. Al tener un marco definido, es posible gestionar la introducción de nuevos métodos, adaptaciones, herramientas y técnicas.

Los modelos de procesos para desarrollo de software adolecen de fallas inherentes a su misma naturaleza abstracta; las guías provistas son en alto nivel por lo que detalles cruciales para el éxito deben terminar siendo definidos por las organizaciones al momento de implementarlos [Madhavji1991].

En tal sentido, los procesos de software pueden ser representados en distintos niveles de precisión, tales como ciclos de vida genéricos, modelos específicos de una tecnología o específicos de un proyecto determinado. También pueden ser expuestos desde distintas perspectivas, como ser *funcionales*, *actitudinales*, *organizacionales* o *informacionales*. Su grado de detalle así mismo puede formularse en distintos niveles tales como *descriptivos*, *prescriptivos* o *normativos*. [Derniame1999, Finkelstein1994].

La organización debe definir qué características de proceso son más adecuadas a sus propias estrategias de negocio. Por ejemplo, dar énfasis a la rapidez de desarrollo por encima de la calidad o viceversa [Sotirovski2001].

Distintos ejemplos de modelos de proceso incluyen el *modelo cascada* [Royce1970], el *iterativo* [Basili1975], el *transformacional* [Balzer1981] y el *espiral* [Boehm1988]. Comparaciones entre las características y bondades de estos modelos es provista por Davis [Davis1988]. Otros modelos de proceso modernos incluyen el *Rational Unified Process* (RUP) [Kruchten2003], *eXtreme Programming* (XP) [Beck1999], el *Dynamic Systems Development Method* (DSDM) [Stapleton1997] y *Scrum* [Schwaber2001].

La Organización Internacional para la Estandarización (International Organization for Standardization ISO) ha desarrollado un modelo de proceso para el ciclo de vida del software, denominado ISO/IEC 12207, y otro para la evaluación de proceso ISO/IEC 15504. Al mismo tiempo, las revisiones más recientes de la familia de modelos de calidad ISO-9000 alientan la adopción de un modelo de gestión de calidad y mejora orientado a procesos, lo que en particular es reflejado en los lineamientos de aplicación de ISO-9001 del año 2000 para software (llamada también ISO/IEC WD 9000-3).

Como ya fue discutido, el Software Engineering Institute ha desarrollado una familia de modelos de madurez en las capacidades de software cuyo exponente vigente es el SEI-CMMI™. Ambos modelos de proceso tienen significativos elementos en común y, de hecho, pueden ser armonizados para su adopción simultánea cuando la organización deba satisfacer requerimientos simultáneos, por ejemplo, derivados de necesidades contractuales [Rout2007].

Bechtold [Bechtold1996] resume las guías de cómo mejorar el proceso de software a partir de la definición y modelado de procesos establecidos por estos modelos de referencia.

2.1.3. Infraestructura de proceso

Todos los modelos de proceso requieren para su implementación definir, desplegar y mantener una infraestructura apropiada para su ejecución. Ésta consiste en los recursos físicos y tecnológicos, así como los roles de responsabilidad organizacional, involucrados en la gestión del proceso y su mejora.

La literatura aborda mayoritariamente dos enfoques de infraestructura: los denominados *Experience Factory* [Basili1991] y *Software Engineering Process Group* (SEPG) [Fowler1990]. Se pueden encontrar descripciones de infraestructuras de procesos en general en el *SPI Guidebook* [Jeletic1996] y la descripción realizada por McFeeley y Kautz del modelo IDEAL del SEI [McFeeley1996, Kautz2000a], entre otros.

En las organizaciones que adoptan iniciativas de mejoras de proceso basadas en SEI-CMMI™, el enfoque de preferencia es el SEPG. Éste es, conceptualmente, la principal fuerza organizacional detrás de la mejora de proceso. Su rol es mantener una visión amplia de los esfuerzos alrededor de iniciativas SPI en toda la organización, y facilitar los mismos a partir de coordinar las distintas áreas de la organización que deben estar involucradas.

El SEPG típicamente tiene a su cargo obtener y mantener el soporte de la dirección de la empresa, impulsar las evaluaciones del proceso de software, coordinar los esfuerzos de despliegue de iniciativas SPI e involucrar a los contribuyentes claves en el desarrollo para el planeamiento e instalación de procesos y tecnologías. Otros roles significativos serán coordinar los esfuerzos de entrenamiento, monitorear el estado de las iniciativas SPI, facilitar la creación y mantenimiento de

definiciones de proceso, mantener los repositorios organizacionales y proveer, toda vez que sea necesario, soporte consultivo a los desarrolladores y la gerencia [Fowler1990]. Usualmente las actividades del SEPG no incluyen la ejecución del proceso de desarrollo mismo, sino la gestión del cambio tecnológico y organizacional, asociada a su despliegue y mejora continua.

2.1.4. Medición del proceso

La evaluación de cambios en el proceso de software requiere mediciones. Existen numerosas guías sobre cómo realizarlas, tales como el AMI Handbook [Pulford1996], el método *Objetivo-Pregunta-Métrica* (*Goal Question Metric* GQM) [Briand1996], el Software Measurement Guidebook [Park1996], la Guide to Practical Software Measurement [McGarry1998] y el Practical Software Measurement Guidebook [Florac1997]. Todas tienen en común que se basan en una medición orientada a los objetivos, que ayuda a mantener consistencia y completitud de las medidas realizadas por la organización.

En particular, el método GQM es un enfoque pragmático para las mediciones orientadas a objetivos. Este método es muy difundido en proyectos de software para seleccionar e implementar aquellos indicadores que son relevantes a la organización [Basili1984 y Basili1988]. También puede ser utilizado como criterio para el ajuste (*tailoring*) de los objetivos requeridos por los modelos de proceso de software, de manera tal de adaptarlos a las necesidades específicas de la organización.

La Figura 2-3 muestra la estructura jerárquica que resulta de aplicar GQM. Un *objetivo* (*goal*) organizacional dado opera en el nivel conceptual, y es refinado en un conjunto de *preguntas* que conforman el nivel operacional. Cada pregunta es contestada por un conjunto de *métricas*, que constituyen el nivel cuantitativo; una misma métrica puede contribuir a contestar más de una pregunta.

La evaluación continua mediante métricas del conjunto de objetivos permite la gestión de los recursos de la organización para alcanzar las metas que ésta tuviera. El GQM puede ser integrado con otros enfoques de gestión tales como el *Balanced Scorecard* [Kaplan1996].

Las estrategias de recolección de métricas pueden también asociarse a estructuras ontológicas que definan formalmente el enfoque para satisfacer los requerimientos de modelos como SEI-CMMI™ [Colla-Olsina2006].

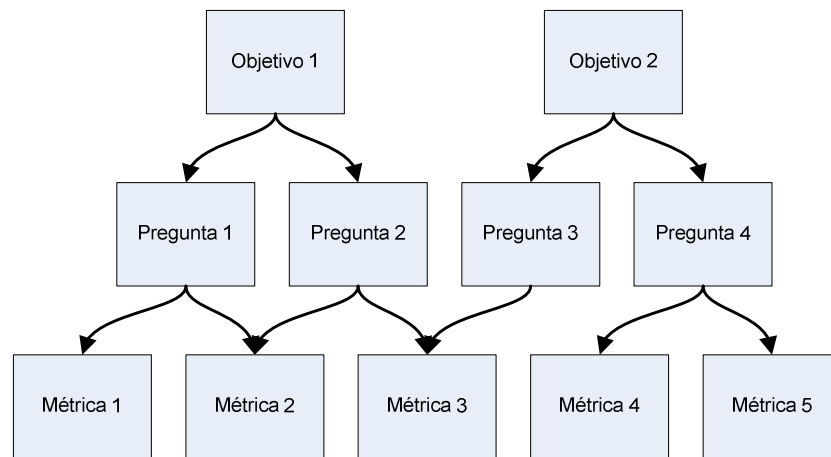


Figura 2-3 Estructura jerárquica de GQM [Basili1984]

2.2. Evaluación de procesos de software

La evaluación (*assessment*) de un proceso de software es la revisión de cómo actúa una organización de desarrollo para proveer guía a sus profesionales y gerentes sobre que prácticas pueden ser mejoradas [Humphrey1989a]. La evaluación puede ser realizada con propósitos de mejorar el proceso o determinar la capacidad corriente de la organización. El contexto para la evaluación puede verse en la Figura 2-4, extraído del marco conceptual de la norma ISO/IEC 15504.

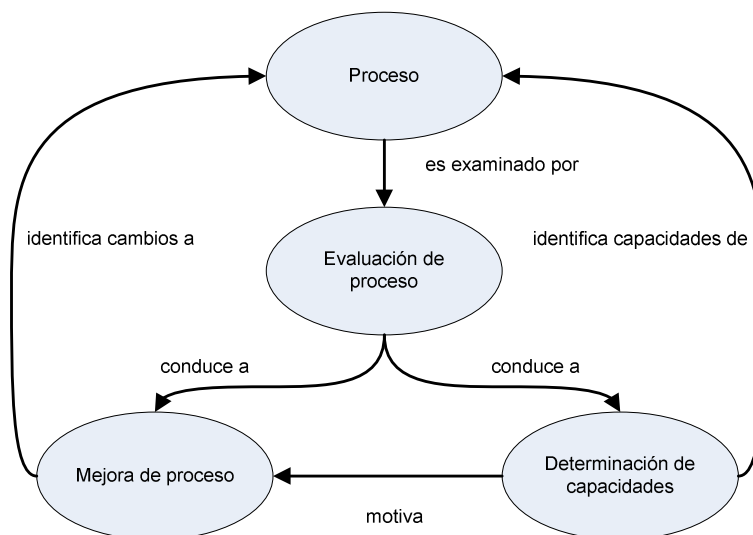


Figura 2-4 Contexto de la evaluación de procesos de software [ISO/IEC 15504]

Referencias introductorias de la evaluación del proceso son provistas por Humphrey [Humphrey1989a] y Zahran [Zahran1998]. Goldenson [Goldenson2003] aporta una revisión extensiva de los factores empíricos involucrados.

Las tres formas en las cuales una organización puede evaluar su proceso de software son comparar con otras organizaciones tomadas como referencia, comparar contra modelos de

mejores prácticas y realizar una comparación “ad-hoc” usando como guía los objetivos y necesidades específicos de la organización.

La primera forma, denominado en oportunidades “*benchmark*”, es un ejercicio inicial utilizado por las organizaciones para ganar de la experiencia de otros y comprender qué mejores prácticas les permiten obtener buenos resultados. Existen proveedores de consultoría y fuentes en la industria que proveen información para realizar este tipo de evaluación. Un ejemplo de esto son las consultoras en tecnología como el Gartner Group.

La segunda forma adopta un determinado modelo de software que se presume adecuado para la organización y compara las fortalezas y debilidades de la organización respecto a ese perfil propuesto. La determinación de las prácticas utilizadas como referencia debe ser concreta y validada [Fayad1997] [Gray1998]. Aún así existen problemas metodológicos y de validez estadística [Bollinger1991] y, a menudo, son aproximaciones fuertemente dependientes de la aplicación de criterios de control estadístico de procesos, los que también han sido criticados por algunas limitaciones en la aplicabilidad a los procesos de software [Ould1996]. Durante la década de los 90, la evaluación de procesos de software se ha transformado en sinónimo de la comparación contra modelos de mejores prácticas, los que reciben el nombre de modelos de referencia.

Por último, la tercera forma de evaluación se concentra en los aspectos que son esenciales y únicos de cada compañía. Si bien puede parecer atractivo dedicarse sólo a temas que son relevantes a la estrategia de la organización, este enfoque tiene dos problemas que limitan seriamente su aplicación. El primero es que el patrón de comparación, al ser propio de la compañía, resulta difícil de ser validado como correcto. El segundo es que la determinación de capacidades que obtiene la organización no es comparable con el de otras organizaciones similares; esta consideración es particularmente relevante cuando la determinación de capacidades intenta ser apalancada competitivamente como demostración ante un tercero interesado, siendo éste cliente o proveedor.

2.2.1. Modelos de referencia

Los *modelos de referencia* más utilizados a escala global son los definidos como parte del SEI-CMMI™ [Paulik1995] y el ISO/IEC 15504. Ambos son utilizados como criterio de selección de proveedores en mercados tecnológicos de los Estados Unidos de América y Europa, tanto por parte de organismos públicos como privados, de forma de reducir los riesgos asociados a proyectos de software sub-contratados y mejorar la calidad del software entregado.

El *Standard CMMI Assessment Method for Process Improvement* (SCAMPI) [SEI2009] define la metodología de evaluación relativa al modelo SEI-CMMI™. Ésta sustituyó a la *CMM Based Appraisal for Internal Process Improvement* (CBA IPI) utilizada por su predecesor el SW-CMM. Por su parte, la norma ISO/IEC 15504 provee su propia guía, denominada *SPICE*, que

especifica cómo realizar la evaluación conforme al estándar.

Otros modelos de referencia también utilizados para evaluación son ISO 9000-3, TickIT [BSI2001], EFQM [EFQM1999], Bootstrap [Kuvaja1994] y Trillium [Coallier1994]. En ocasiones, se utilizan los criterios de premios internacionales de prestigio como modelo de referencia. Por ejemplo, Tingey [Tingey1996] compara los criterios del premio internacional estadounidense Malcom Baldrige, la serie de normas ISO-9000 y SEI-CMMI™.

Existen otros modelos utilizados para realizar evaluaciones especializadas en ingeniería de sistemas [Bate1995], adquisición de software [Cooper1999], gestión de RRHH [Curtis1995], ingeniería de requerimientos [Sommerville1997], validación y verificación [Burnstein1999], mantenimiento [Drew1992], mediciones [Budlong1995] y reutilización de software [Karlsson1995].

Los modelos de referencia basados en mejores prácticas pueden ser clasificados, a su vez, en representaciones “*por etapas*” o “*continuas*”. La representación por etapas es un conjunto de áreas específicas que deben ser cubiertas para que la organización pueda considerarse en los diferentes niveles de madurez definidos por el proceso, con la excepción del primero, Nivel 1, que significa que la organización no adhiere al modelo o al menos que no ha podido demostrar aún el despliegue de sus requisitos.

La representación continua, por su parte, opera en dos dimensiones. Por un lado, los procesos que son evaluados por ser relevantes a la organización. Por el otro, la escala de capacidad en que esos procesos operan. De esta forma, es posible evaluar los niveles de capacidad que son adecuados en los diferentes procesos como guía para los esfuerzos en SPI. A partir de la correcta aplicación de las diferentes capacidades se establece el nivel de madurez que exhibe la organización en su conjunto.

SEI-CMMI™ permite ser utilizado tanto en representación continua como por etapas, mientras que ISO/IEC 15504 utiliza una representación continua. La segmentación en niveles requerida por SW-CMM ha sido criticada por ignorar la posibilidad que una organización pueda requerir un patrón de madurez diferente que el rígidamente definido por el modelo. Después de todo, el orden mismo refleja una ideología dada sobre las prioridades e importancia de los distintos aspectos [Saedian1995]. SEI CMMI™ aborda, al menos parcialmente, muchas de estas críticas.

2.2.2. Otros modelos de calidad

Con el transcurso del tiempo, fueron descriptos por diferentes autores un número importante de propuestas para modelos de marco de calidad. En su mayoría, se trata de poco más que metodologías propietarias cuyo propósito es proveer una diferenciación competitiva a quien las impulsa o de ensayos académicos preliminares.

Entre los más destacados se encuentran los modelos de General Electric propuestos por

McCall [McCall1977], el modelo de evaluación de calidad de software propuesto por Boehm [Boehm1978], el modelo FURPS propuesto por Grady [Grady1992] y el modelo Dromey [Dromey1995]. Todos ellos concentran el foco en el producto de software y no en el proceso utilizado para crearlo. Por lo tanto, no sólo no dicen demasiado sobre lo que la organización debe hacer para cumplir con estos modelos, sino que además no proveen orientación alguna sobre qué áreas deben recibir el foco SPI.

La mayoría han sido utilizados como antecedentes de los modelos de referencia y su grado de adopción como eje de iniciativas SPI es, al presente, bajo. Por lo tanto, no se considera apropiado utilizar los mismos como base para modelar prácticas en SPI en el presente trabajo.

Existen también otros modelos de mayor alcance, en ocasiones derivados de modelos de madurez, tales como SEI SW-CMM o SEI-CMMI™, y enfocados a problemas particulares o ámbitos específicos. Algunos están incluso impulsados por el SEI mismo, como el *Team Software Process* (TSP, *Proceso de Software de Equipos*).

Finalmente, encontramos variantes regionales o de normativa de cada país que son creadas con la intención de mejorar aspectos criticables del SEI-CMMI™ o realizar adaptaciones específicas para el ámbito o región, tal como el modelo MPS desarrollado en Brasil [Santos2007].

Todos estos esfuerzos merecen atención; sus resultados deben ser observados, y se deben adoptar todos aquellos factores innovadores que demuestren aportes valiosos. Sin embargo, está claro que no disponen de una masa crítica de adopción ni un cuerpo de evidencia sobre sus beneficios que permita estudiar la conveniencia de su uso, y hasta qué grado efectivamente logran mitigar los aspectos criticados sobre el modelo SEI-CMMI™. Tampoco es evidente hasta qué punto evitan, exitosamente, incorporar nuevos problemas no existentes previamente.

Estos modelos de calidad alternativos no aportan diferencias significativas en el enfoque que impidan que las conclusiones de este esfuerzo de investigación puedan ser adaptadas a ellos, con la adecuada calibración de instrumentos y herramientas cuando la información para ello esté disponible. Uno de los aspectos a evaluar es hasta qué punto su uso alcanza proporciones significativas en el mercado argentino que sugieran que sea imperativo su análisis.

2.2.3. Factores de éxito en evaluación de procesos

La confiabilidad y validez de los criterios de evaluación es una condición necesaria, pero no suficiente. Se requieren también, como requisitos básicos, un equipo de trabajo competente, liderazgo sólido y una organización abierta que coopere en la iniciativa [Humphrey1989b]. Otros factores necesarios son confianza, patrocinio de la dirección y respeto a la organización que es evaluada. Consistentemente otros autores mencionan como factores críticos la existencia, durante la evaluación, de patrocinio ejecutivo, evaluación orientada a las acciones, credibilidad, relevancia,

confianza y trabajo en equipo [Kuvaja1994, Olson1989, Paulik1995, Pressman1988, Zahran1998].

A pesar que la evaluación es autosuficiente para definir el nivel de capacidad y madurez de una organización, no se traduce por sí misma en mejoras en el proceso. Para que éstas ocurran es necesario poder derivar acciones de la evaluación que, una vez implementadas, constituyan acciones de mejora.

2.3. Despliegue de mejoras de los proceso de software (SPI)

Una definición amplia de SPI incluye definir y modelar el proceso de software, evaluar el resultado, refinarlo en forma continua y adoptar un nuevo proceso mediante innovación cuando la capacidad de mejora se agote.

El ciclo Planear-Implementar-Verificar-Mejorar (Plan-Do-Check-Act PDCA), mostrado en la Figura 2-5, fue desarrollado por Shewhart en los años 20 y provee el sustento básico para un enfoque disciplinado de mejora continua. Este ciclo fue posteriormente adoptado por Deming y aplicado masivamente en la industria japonesa luego de la Segunda Guerra Mundial.

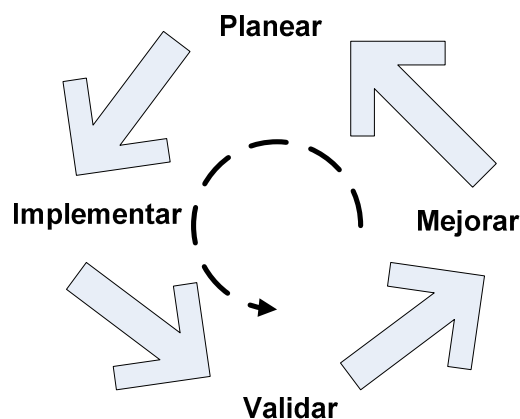


Figura 2-5 El ciclo de mejora de Shewart [Deming1986]

A pesar de las diferencias ya discutidas en la naturaleza de los procesos, las ideas exitosas de calidad en los ámbitos de manufactura pueden ser aplicadas también a procesos de software. La clave es adaptar las metodologías concebidas para una fábrica a un contexto más afín a un taller, esto es, trasladar los principios generales de un ambiente de producción a uno de desarrollo [Basili1995].

Los enfoques para lograr la implementación de SPI son referidos como el de “benchmarking” y “analítico” [Card1991]. McGarry [McGarry1998] utiliza los términos “top-down” y “bottom-up” en forma equivalente.

El enfoque de “benchmarking” compara los procesos de la organización con alguno de los modelos de mejores prácticas utilizados para evaluar, discutidos en la sección precedente. La mejora de proceso es implementada como un esfuerzo sistemático para eliminar las diferencias

entre el proceso bajo evaluación y el utilizado como referencia. La hipótesis subyacente es que, en la medida que se cambia el proceso, los productos realizados con él lo harán en forma acorde. Un enfoque de mejora por benchmarking es el modelo IDEAL (McFeeley1996), recomendado por el SEI para que una organización abrace SEI-CMMI™ como una práctica institucionalizada.

El enfoque *analítico*, en contraste, asume que los objetivos de la organización, sus características, los productos o servicios que provee y su propia madurez deben impulsar el proceso de cambio a partir de las necesidades locales y no como respuesta a un conjunto genérico de mejores prácticas. El ejemplo más prominente de este enfoque es el *Quality Improvement Paradigm* (QIP) [Basili1989]. Otros métodos son el AMI [Pulford1996], Project Planning and Development Process (PADRE) [Rettig1993] y la adopción del modelo espiral para SPI [Grady1997]. Al mismo tiempo, la norma ISO/IEC 15504 provee una guía para la utilización de la evaluación de proceso.

El esquema de mayor aceptación es el modelo IDEAL. Su nombre deriva de las expresiones en inglés que definen las cinco fases que lo componen: iniciar el programa de mejoras (*Initiating*), diagnosticar el estado corriente de las prácticas (*Diagnosing*), establecer un plan de mejora (*Establishing*), realizar las mejoras planeadas (*Acting*) y aprender desde los resultados del esfuerzo de mejora (*Learning*) [Gremba1997]: El modelo guía la aplicación de la iniciativa de mejora en forma consistente por medio de la adopción e institucionalización gradual del modelo SEI-CMMI™ en las prácticas de la organización [Peterson1995].

2.3.1. Factores de éxito en mejora de procesos

El estado del arte en gestión de calidad deriva del trabajo de Deming [Deming1982], Juran [Juran1992] y Crosby [Crosby1979], quienes definieron marcos de trabajo para las mejoras de calidad. Ellos, junto con muchos otros autores, remarcen la importancia de factores críticos de éxito como patrocinio de la dirección, participación de empleados, programas de medición y gestión de procesos para implementar el cambio [Ahire1996, Black1996, Feigenbaum1991, Garvin1983, Ishikawa1986, Powel1995, Saraph1989, Taguchi1986, Yusof1999].

Con el objetivo de implementar iniciativas exitosamente, Humphrey [Humphrey1989a] identifica seis principios básicos; Zahran [Zahran1998], por su parte, propone diez factores críticos y Basili [Basili1995] hace énfasis en la reutilización de la experiencia y el aprendizaje.

Goldenson [Goldenson1995] realizó una encuesta con 138 personas en 56 organizaciones que condujeron procesos de evaluación bajo SEI-CMMI™, para evaluar los factores que promueven o dificultan la realización de SPI. Los resultados son expuestos en la Tabla 2-1.

Factores que promueven SPI	Factores que dificultan SPI
<i>Monitoreo por parte de la dirección del SPI</i>	<i>Falta de creencia en posibilidades del SPI</i>
<i>Responsabilidades balanceadas de SPI</i>	<i>Percepción que SPI dificulta el trabajo real</i>
<i>Objetivos SPI bien entendidos</i>	<i>Esquemas de poder que inhiben SPI</i>
<i>Staff técnico (desarrolladores) involucrados</i>	<i>Factores políticos en la organización</i>
<i>Equipo impulsor de SPI respetado</i>	<i>Alcance de SPI muy ambicioso</i>
<i>Recursos adecuados dedicados a SPI</i>	<i>Falta de guía y consejo en cómo mejorar</i>

Tabla 2-1 Factores que promueven y dificultan iniciativas SPI [Goldenson1995]

Como parte del proceso de validación de SPICE, El Emam [ElEmam1999] realizó un estudio similar en 18 organizaciones en Europa, Canadá y Australia que acababan de finalizar procesos de evaluación utilizando ISO/IEC 15504. El resultado muestra que ninguno de los factores que dificultan SPI en el estudio anterior están relacionados con el éxito en este caso. Entre los que promueven SPI los factores “*Objetivos SPI bien entendidos*” y “*Staff técnico involucrado*” fueron encontrados, además, como estadísticamente relevantes en su relación con resultados exitosos.

Seltzer [Seltzer1998], al estudiar esfuerzos de SPI basados en ISO-9000, justificó como factores de éxito la definición del estado actual, la identificación de mejores prácticas y los procesos de negocios, la simplificación de procesos rutinarios, la realización de auditorías internas y crear un clima en la organización que aliente el trabajo en equipo y al mismo tiempo cuide la satisfacción del cliente durante el despliegue de las prácticas de SPI.

En una encuesta de 87 proyectos realizada en distintas organizaciones, Deephouse [Deephouse1996] demostró que los proyectos que utilizaron procesos tuvieron mejores resultados. Los hallazgos muestran que ciertas prácticas, tales como planeamiento de proyectos y equipos multi-funcionales, están consistentemente vinculadas con resultados favorables, mientras que otras prácticas tales como entrenamiento en proceso, ambiente estable, contactos con usuarios, revisiones de diseño y trabajo con prototipos tienen pequeño impacto en el funcionamiento del proyecto. Este resultado no es más que una confirmación empírica de la importancia de los factores de proceso por encima de los factores de producto como impulsores de los resultados al realizar mejoras. Dada su importancia, este aspecto recibirá atención adicional en el Capítulo 5.

2.4. Innovación de procesos de software

Las estrategias discutidas previamente en este capítulo representan cambios relativamente pequeños, de naturaleza evolutiva o incremental, en los productos o servicios realizados por las organizaciones. La innovación de procesos representa cambios bruscos o significativos en las

prácticas existentes, que a menudo están acompañados de movimientos radicales en la organización que los implementa. La innovación también requiere estrategias de aprendizaje organizacional, de forma de transitar desde un enfoque “*adaptativo*” a uno “*innovador*”. Las organizaciones que abrazan vías de innovación son aquellas que necesitan hacer las cosas en forma diferente.

Una revisión de las líneas de investigación en innovación es provista por Gopalakrishnan [Gopalakrishnan1997]. Al mismo tiempo, Leifer [Leifer2001], Leonard-Barton [Leonard-Barton1995] y Nonaka [Nonaka1995] proporcionan una perspectiva gerencial a la innovación. Por otra parte, la discusión de Ziman [Ziman2000] se concentra en cómo aplicar innovación mediante la adopción de tecnologías.

En el ámbito argentino, Cuozzo [Cuozzo2007] logra relacionar la capacidad de innovación de las organizaciones con su despliegue de metodologías para la administración de proyectos y procesos. De esta forma, se proporciona un marco teórico que explica cómo la innovación se difunde desde los procesos a otros aspectos tecnológicos de su funcionamiento.

La coexistencia de mejora con innovación es discutida desde el punto de vista de aprendizaje organizacional por Argyris [Argyris1996], Fiol [Fiol1985], Lant [Lant1992], March [March1999], Senge [Senge1990] y Tushman [Tushman1985]. La noción detrás de la innovación es, justamente, desplegar “algo nuevo” [Gopalakrishnan1997]. En un nivel más abstracto, la innovación consiste en un aprendizaje de alto nivel que resulta en la aplicación de mejores prácticas, así como la reestructuración de las estrategias y del contexto que las gobiernan [Argyris1996].

Estas innovaciones pueden provenir de la aplicación de re-ingeniería a los procesos, donde como resultado se descubre la necesidad de implementar un nuevo proceso que reemplace al anterior. La innovación también abarca la identificación de la necesidad del cambio, el diseño del mismo y, una vez adoptado, la institucionalización en la organización.

2.4.1. Mejoras de proceso vs. Innovación

Hay similitudes importantes, al mismo tiempo que diferencias remarcables, entre los conceptos de mejoras de proceso e innovación de proceso. Tanto autores que impulsan la innovación, como Davenport [Davenport1993] y Hammer [Hammer1993], como por los impulsores de la mejora de procesos como Juran [Juran1964], sostienen que ambos enfoques tienen similitudes muy significativas.

Tanto la mejora como la innovación de procesos se concentran en estudiar el proceso, mejorar la calidad del resultado y realizar cambios como estrategia para obtener mejores resultados. En los dos casos, además, existe la visión centrada en el cliente y el reconocimiento de la necesidad de desplegarse con la participación de toda la organización como actos de cambio cultural.

Dyba [Dyba2001] propone incluso que ambos enfoques, mejora e innovación, son parte de

un continuo de mejora donde los procesos son definidos, evaluados y mejorados y que, cuando la mejora alcanza los límites técnicos del proceso corriente, se necesita entonces aplicar innovación. El esquema en la Figura 2-6 muestra, en alto nivel, cómo se puede integrar ambas visiones. Los fundamentos teóricos de Dyba permiten asumir bajo un mismo marco las acciones de mejora de procesos y las de innovación. Por lo tanto, permitirá considerar inversiones en SPI indistintamente a si intentan mejorar el proceso, cambiarlo o ambos.

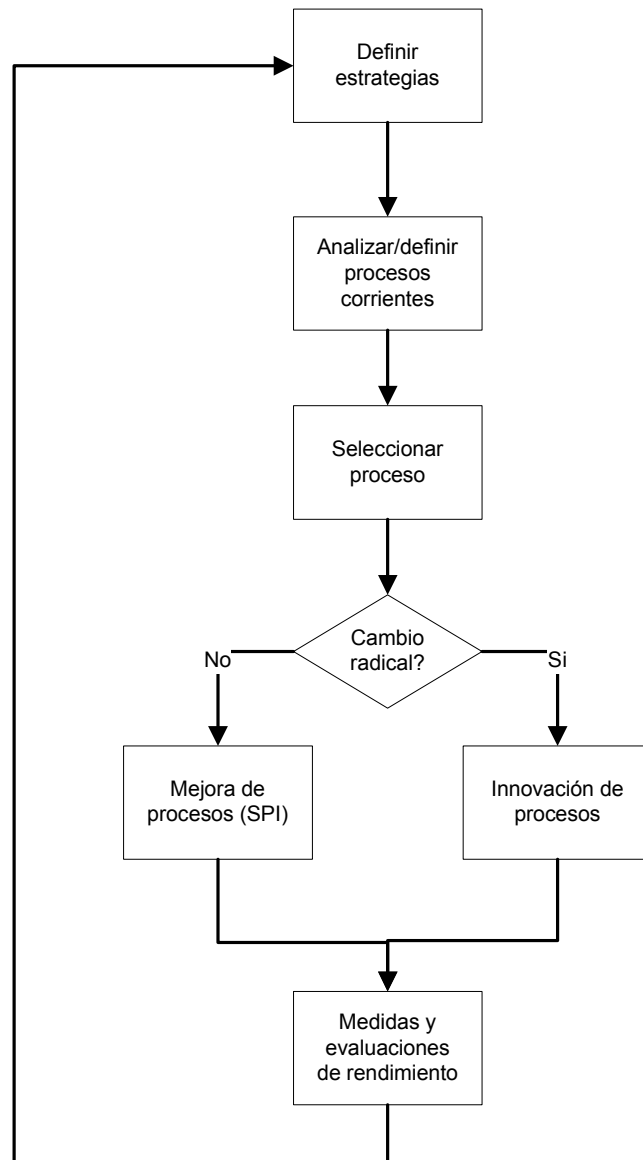


Figura 2-6 Propuesta de mejora de procesos integrada con innovación [Dyba2001]

2.5. Modelo de madurez SEI-CMMI™

El modelo de Madurez de Capacidades Integrado en Ingeniería de Software (SEI-CMMI™), es un enfoque para la gestión de procesos que provee a la organización de los elementos esenciales

para la efectiva implementación de mejoras a los mismos. Puede ser utilizado para guiar las acciones en un proyecto, una división o una organización entera. El SEI-CMMI™ ayuda a integrar funciones organizacionales tradicionalmente separadas, establecer objetivos y prioridades para la mejora de proceso, proveer una guía en el uso de procesos de calidad y definir un marco de referencia para la evaluación de los procesos existentes [SEI2009].

Los componentes del modelo son tres:

- Una descripción detallada de las áreas de proceso que componen cada nivel de madurez, así como los objetivos específicos y genéricos que deben ser satisfechos por la organización. Ésta configura el modelo de referencia SEI-CMMI™ propiamente dicho.
- La descripción de los requerimientos que debe satisfacer el proceso de evaluación que se tendrá que realizar para establecer el cumplimiento de los requerimientos del modelo, también llamado Requerimiento de Evaluación para CMMI (Appraisal Requirements for CMMI ARC).
- Los criterios que deben acreditar los profesionales para ser habilitados para realizar la evaluación.

2.5.1. Representación

El modelo SEI-CMMI™ existe en dos representaciones, *continua* y por *etapas*. La representación continua está diseñada para permitir a la organización priorizar aquellos procesos que sean considerados importantes para los objetivos inmediatos o aquellos a los cuales asigna un nivel de riesgo más alto. La representación por etapas provee una secuencia estándar de mejoras y puede servir como referencia para comparar la madurez de diferentes proyectos y organizaciones. La representación por etapas permite también una migración más sencilla a organizaciones que hubieran adoptado previamente el modelo de referencia SEI SW-CMM.

2.5.2. Conceptos

El modelo SEI-CMMI™ contiene múltiples áreas *de proceso*. Cada una contiene entre uno y cuatro *objetivos* (goals), y cada objetivo está compuesto de *prácticas* (practices) que deberán ser implementadas para satisfacerlos. Estos objetivos y prácticas son llamados *específicos*, pues describen actividades que son inherentes a un área de proceso individual. Existen también un conjunto de objetivos y prácticas genéricas que actúan como la infraestructura que permite funcionar a las prácticas específicas y que aplican a todas las PAs.

2.5.3. Áreas de proceso

Según lo representado en la Tabla 2-2, cada nivel de madurez contendrá diferentes PAs que se inscriben en grupos genéricos de disciplinas definidas por la naturaleza de las acciones que incorporan. Éstas son *ingeniería*, *gestión de proyectos*, *gestión de procesos* y *soporte*.

Las mejores prácticas definidas por SEI-CMMI™ deben ser adaptadas por cada empresa individual de acuerdo a sus objetivos de negocios. Las empresas no resultan “certificadas” en SEI-CMMI™ sino que son “evaluadas”, utilizando un método formal como lo es el SCAMPI, y se les asigna un resultado de nivel entre 1 y 5.

Nivel	Area de Proceso (PA)		Disciplina
2	Requirements Management	REQM	Engineering
	Project Monitoring and Control	PMC	Project Management
	Project Planning	PP	Project Management
	Configuration Management	CM	Support
	Measurement and Analysis	MA	Support
	Process and Product Quality Assurance	PPQA	Support
3	Organizational Process Definition	OPD	Process Management
	Organizational Process Focus	OPF	Process Management
	Organizational Training	OT	Process Management
	Integrated Project Management	IPM	Project Management
	Risk Management	RM	Project Management
	Decision Analysis and Resolution	DAR	Support
4	Organizational Process Performance	OPP	Process Management
	Quantitative Project Management	QPM	Project Management
5	Organizational Innovation and Deployment	OID	Process Management
	Causal Analysis and Resolution	CAR	Support

Tabla 2-2 áreas de proceso para cada nivel de madurez del modelo SEI-CMMI [SEI2009]

2.5.4. Evaluación de madurez

Muchas organizaciones reconocen el valor de medir su progreso mediante eventos de evaluación que permiten adquirir, como resultado, información sobre el estado de sus prácticas y áreas donde es posible realizar mejoras. Estas evaluaciones son típicamente realizadas por algunas de las siguientes razones:

- Para informar a la gerencia de la organización sobre el estado de despliegue de procesos.
- Para informar a clientes y proveedores sobre el estado de los procesos de la organización en comparación con las mejores prácticas definidas por SEI-CMMI™.
- Para alcanzar requisitos contractuales con uno o más clientes.

Hay tres tipos de evaluación denominadas Clases A, B y C, que son descriptas como parte del SCAMPI:

- **Evaluación “C”** es una revisión superficial basada en entrevistas para determinar la

posición general de la organización respecto al esfuerzo SPI, de forma de poder realizar un planeamiento más ajustado de las actividades necesarias. Esta evaluación considera todas las PAs hasta el nivel que la organización definió como objetivo, no otorga nivel y puede generar recomendaciones.

- **Evaluación “B”** es una revisión preliminar basada en entrevistas y evidencia física para determinar el estado general de implementación de la organización respecto al nivel de madurez objetivo. Esta evaluación considera todas las PAs hasta el nivel que se definió como objetivo, no otorga nivel y puede generar recomendaciones.
- **Evaluación “A”** es una revisión formal, basada en una estructura metodológica rigurosa, que incluye entrevistas a miembros de la organización y revisión de evidencia provista por múltiples fuentes. Esta evaluación considera todas las áreas de proceso hasta el nivel que la organización definió como objetivo. A su finalización otorga uno de los cinco niveles de madurez basado en la cobertura de los objetivos requeridos por el modelo y puede generar recomendaciones adicionales.

2.6. Enfoques para implementar SPI

A medida que las organizaciones desarrolladoras de software evalúan mejoras en sus procesos, se torna más evidente la necesidad de contar con elementos que faciliten el análisis de las inversiones necesarias para cumplir este objetivo.

Los modelos de calidad como los vistos en secciones anteriores son guías esenciales de este tipo de esfuerzo pero aportan pocos lineamientos sobre las mejores estrategias para satisfacerlos o qué clase de beneficios se espera conseguir con su utilización. Se identifica entonces la necesidad de un esfuerzo integrador que formule, valide y proponga modelos de análisis que permitan a las organizaciones involucradas evaluar y gestionar sus iniciativas de mejora de proceso. En primer lugar, es prioritario analizar el valor que tienen las inversiones de este tipo para las organizaciones del mercado de *tecnología de información* (TI) en general, y en desarrollo de software en particular. Pese a lo intuitivamente necesaria que pueda parecer esta evaluación, las referencias rescatadas de la literatura son notoriamente escasas en proponer marcos para realizarla.

A continuación, y con el fin de establecer un marco de evaluación de la inversión, se hace una reseña de las principales razones que una organización debe considerar para embarcarse en este tipo de iniciativa. Además, se repasan los principales elementos del contexto geográfico y organizacional que deben tenerse en cuenta.

Se comienza por definir los elementos y metodologías que se utilizan para evaluar las inversiones necesarias, con el fin de validar su concordancia con el eje estratégico de la

organización, así como monitorear su evolución. Esto es fundamental cuando se usan modelos de referencia cuyas acciones requieren plazos prolongados para su implementación.

Es necesario detenerse en las consideraciones que sean específicas de las PyMEs, puesto que se las supone, a priori, como las dominantes por su número en el mercado global de tecnología en general, y el argentino en particular. El énfasis de este trabajo está puesto en estudiar la importancia de los esfuerzos en SPI tendientes a obtener madurez en las capacidades necesarias, que se asumen son las adquiridas mediante el uso del modelo SEI-CMMI™. Este modelo es el habitualmente requerido a proveedores *offshore* en los mercados de mayor tamaño en Europa y América del Norte.

2.6.1. Marco Organizacional

Las enseñanzas de países pioneros en el mercado de TI offshore a escala global, como India, dejan claro que el éxito no depende exclusivamente de un contexto macroeconómico local que permita contar con recursos a bajo costo comparativo [Arora2002, Ethiraj2003]. Se necesitarán habilidades y capacidades claves que permitan a la firma operar en un negocio tecnológicamente complejo con posibilidades de éxito. El requerimiento es contar con una organización capaz de afrontar desafíos a partir de sus habilidades, tanto para el diseño y construcción de software, como para la gestión de este esfuerzo.

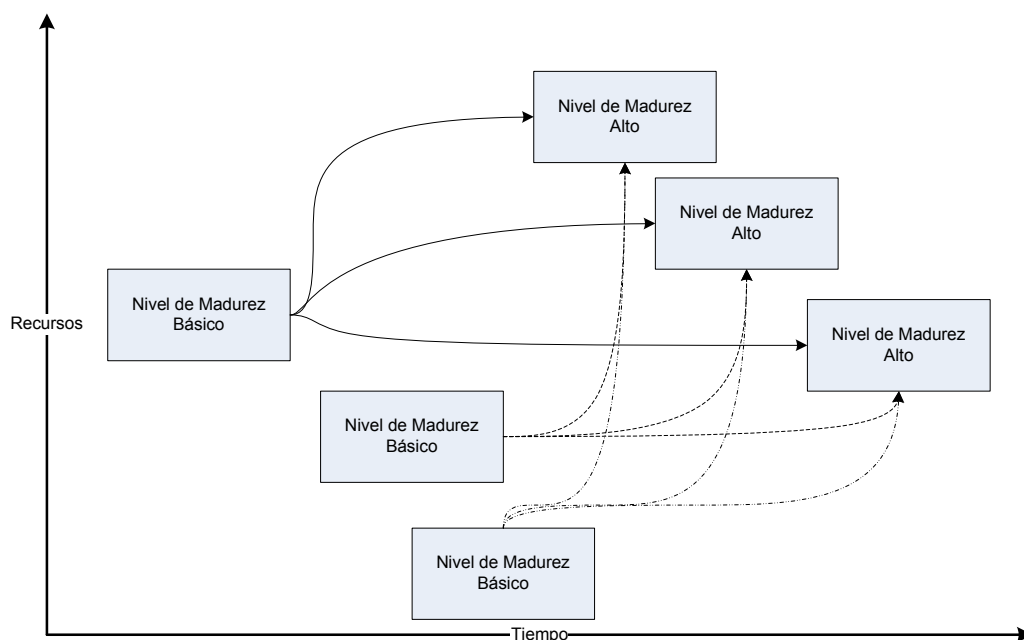


Figura 2-7 Alternativas de hoja de ruta para mejora de procesos [Colla-Montagna2005]

Walden [Walden2002] describe cómo la adopción de iniciativas de mejora de procesos de software requiere la aplicación sistemática y prolongada de recursos financieros y talento. Es natural, entonces, que una firma busque cierto grado de certidumbre sobre los beneficios que se obtendrán a partir de las inversiones en SPI y qué sacrificio requerirán.

Se necesitarán entonces elementos a priori que brinden evidencia convincente sobre cuál será la naturaleza y magnitud del retorno de la inversión, qué iniciativas se deberían priorizar y cómo gestionar el esfuerzo para alcanzar los objetivos planeados.

La premisa de esta tesis [Colla-Montagna2005] es que las organizaciones disponen de estrategias alternativas, esquemáticamente mostradas en la Figura 2-7, para progresar a los distintos niveles objetivo mediante diferentes trayectorias en el espacio de recursos y tiempo. Cada una de ellas repercute en el desenvolvimiento de la organización de diferentes formas. Esto es más complejo si se tiene en cuenta que serán varias etapas, y que existirá la interrelación de factores internos, parámetros intrínsecos del proceso de mejora y condiciones de contorno influenciando sobre cada opción que realice la organización.

Se comenzará explorando los componentes claves para formular el caso de negocios que conduce a estados de mayor madurez bajo el marco del modelo SEI-CMMI™, teniendo presente que están claramente definidos los niveles a los cuales se desea arribar, pero no el camino a seguir. La organización debe poder considerar los beneficios y retornos que logrará al alcanzar mayores niveles de madurez, pero también debe tener presente que estos logros estarán relacionados con el camino que se elija seguir para alcanzarlos y las definiciones organizacionales que adopte.

Existen dos instancias de aplicación para el resultado de esta investigación. Por un lado la planificación, en la cual se evalúa la factibilidad, resultados y riesgos de encarar una política de mejoras en procesos de desarrollo de software. La segunda etapa, una vez que se ha tomado la decisión de progresar con la inversión, comprenderá el seguimiento del enfoque adoptado con el fin de evitar desvíos significativos, realizar ajustes si es necesario y gestionar el esfuerzo de mejora para satisfacer los objetivos esperados de la inversión. Por ello, es importante contar con un modelo sistémico para gestionar el proceso de mejora hasta alcanzar los objetivos de madurez deseados.

La disponibilidad de herramientas y metodologías para realizar la evaluación de la inversión alentará iniciativas SPI al identificar estrategias viables. Por otra parte, facilitará el inicio de esfuerzos que eleven el nivel de competitividad de las empresas de software de nuestro medio, posicionándolas de mejor forma para competir globalmente.

Se parte de la premisa que las empresas son reticentes a realizar inversiones en SPI, dada la actual dificultad para poder planificar, gestionar y controlar un proceso que demanda muchos recursos y un largo período. Esta reticencia, incluso, puede tomar la forma de la noción subjetiva que estos esfuerzos están simplemente fuera de su escala de posibilidades. Por lo tanto, se presume que mostrar evidencia de lo contrario puede tener efectos positivos.

2.6.2. Contexto nacional

En este trabajo no se pretende analizar los detalles que permiten que Argentina tenga

factores de contexto macroeconómico adecuados para el desarrollo de una industria de servicios de TI en general, y de desarrollo de software en particular. La industria de TI realizó gastos e inversiones por 1900 millones de dólares en 2005, que se relacionaron fuertemente con el incremento del PBI, el cual alcanzó ese año el nivel de 13000 dólares por habitante.

La CESSI [CESSI2006] reporta que, con ventas totales de 1700 millones de dólares y niveles de exportación del 25%, la industria nacional va camino a insertarse entre las de mayor peso a nivel internacional para proveer servicios a clientes de Latinoamérica, Europa y Estados Unidos.

Es una visión generalizada, aunque no necesariamente correcta, que el crecimiento explosivo observado en proveedores offshore de tecnología a nivel mundial se debe sólo a diferencias de costo entre éstos y los mercados de países desarrollados a los que sirven. Junto con la competitividad de costo, es clave la disponibilidad de infraestructura y recursos educados. Sin embargo, incluso una inspección superficial de la evidencia, muestra claramente que existen también diferenciadores a nivel de las firmas individuales y que no todo es sólo contexto macroeconómico y estructural.

Es por eso que facilitadores como la *Ley de Promoción del Software* (Ley 25.922), que provee incentivos fiscales, previsionales y competitivos a empresas que, entre otros factores, adopten modelos formales de calidad, ciertamente presentan un impulso importante para las organizaciones que decidan acogerse a ella. Se explorarán las implicancias de esta ley cuando se releve información sobre el perfil de las empresas en Argentina.

2.6.3. Modelos Organizacionales

Una iniciativa que permita a una organización mejorar la madurez de sus procesos para creación de software, en particular si lo hace bajo el marco conceptual brindado por el modelo SEI-CMMI™, requerirá realizar sacrificios organizacionales, asignar foco gerencial y proveer financiamiento substancial por tiempos prolongados.

La Figura 2-8 representa los elementos básicos del enfoque sistémico sobre los cuales se trabajará en esta tesis. La organización se caracterizará por una serie de elementos intrínsecos relativos a esta representación que definirán la viabilidad de ciertos enfoques y políticas a adoptar. Se precisarán, a partir de ellos y para cada caso particular, las dificultades y la inversión a realizar.

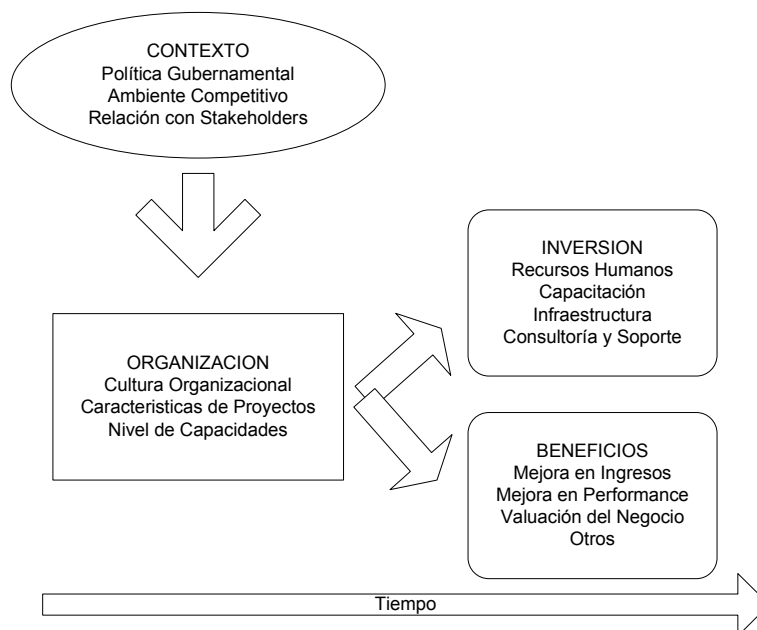


Figura 2-8 Elementos del enfoque sistémico para la mejora de procesos [Colla-Montagna2005].

Un primer requisito es determinar cuáles son los elementos organizacionales que facilitan o impiden la adopción de las políticas de SPI, y cómo evolucionan y varían a lo largo de las distintas etapas del proceso. De igual modo, a nivel de ambiente, existe una serie de claves que coadyuvan o retrasan estas iniciativas. Es importante considerar elementos de tipo político (leyes de promoción), competitivo (desarrollo de alianzas, parques tecnológicos, infraestructura de comunicaciones) y acceso a recursos humanos capacitados. Todos estos factores varían en cuanto a sus características, elementos constituyentes y nivel de impacto a lo largo del tiempo.

Para cada elemento involucrado en el enfoque sistémico se deberá analizar su caracterización y forma de evaluación. Para ello será necesario identificar métricas apropiadas en el contexto de este estudio. Si bien se ha partido de medidas en torno a costos y beneficios, resulta claro que la performance de este modelo debe tener en cuenta otros elementos intangibles, no siempre cuantificables, en el momento del análisis.

Existen múltiples referencias bibliográficas sobre beneficios directos e indirectos correlacionados positivamente con mejoras de proceso de creación de software, pero sólo recientemente se empieza a comprender la naturaleza sistémica del esfuerzo y la necesidad de verlo con una perspectiva más integrada.

La noción que las decisiones en tecnología impactan en el valor de toda la organización es creciente. El dominio que estudia estos efectos recibe el nombre de *factores económicos del software* (*software economics* en inglés) [Slaughter1999, Boehm2002]. En este dominio se estructura la necesidad de crear un fuerte vínculo o *mapa* entre las acciones de tecnología y la variación del valor que representan. Esto orienta el esfuerzo en dirección a un modelo que

permita ver la iniciativa de mejora de procesos dentro de un sistema más grande y complejo: la organización donde ocurre. En su trabajo, Morgado [Morgado2007] incluso propone utilizar las diferentes prácticas de SEI-CMMI™ como reglas de negocio para la organización.

El conjunto de factores que resultan vinculados como variables independientes y dependientes se denominará, en el contexto de este trabajo, *modelo de inversión en SPI*, formando una representación dinámica del comportamiento de la organización. Este modelo constará, básicamente, de los elementos para proveer guía y ayuda para alcanzar los siguientes objetivos:

- Crear el marco para un caso de negocios que permita evaluar la inversión “*ex ante*” e identificar qué estrategia de mejora de procesos de software maximiza los beneficios de la inversión para un contexto de negocios dado.
- Definir las herramientas para la medición continua de los costos y beneficios mientras se realiza el esfuerzo de mejora de procesos, así como proveer un patrón esperado para controlar cómo evolucionan en el tiempo.

2.7. Evaluación de la inversión

La mejora de la madurez en las capacidades de los procesos requerirá una inversión, cuya prioridad se deberá evaluar en comparación a otras oportunidades alternativas que pudiera tener la firma para esos recursos. La experiencia muestra como poco realista esperar que las organizaciones decidan abrazar iniciativas SPI si no están convencidas que es su mejor opción competitiva.

Zahran [Zahran1996] plantea un método de cálculo sistémico, basado en el cómputo de los distintos factores de gasto y resultados, como así también una propuesta para medir cualitativamente la disminución del riesgo de operación de la organización. Lawlis [Lawlis1995] muestra que hay una correlación positiva entre niveles de madurez crecientes según el modelo SEI SW-CMM y mejoras en la performance de la organización. Por su parte, Brodman [Brodman1995] refiere que los métodos usuales para la evaluación de la inversión son *repago de la inversión*, *retorno de la inversión (ROI)* y análisis financieros basados en flujos descontados de caja tales como el *valor presente neto (VPN)* o *tasa interna de retorno de la inversión (TIR)*. Harrison [Harrison 1999, Harrison2001] advierte, sin embargo, que los métodos que impliquen descontar flujos tropiezan con el serio inconveniente de determinar la *tasa de descuento* apropiada. Entre otros, Benaroch [Benaroch1999] propone como alternativa apelar a modelos de valuación mediante instrumentos financieros derivados tales como las *opciones reales*.

Por otra parte, Statz [Statz2002], entre otros autores, advierte sobre la falta de homogeneidad en la definición misma del retorno de inversión entre diferentes casos publicados, por lo que se debe tener cautela en asegurar homogeneidad en las definiciones previo a cualquier comparación.

Independientemente del método utilizado, será necesario anticipar razonablemente los beneficios y las erogaciones necesarias. Los métodos de evaluación financieros requerirán, además, cierta estimación de la incertidumbre para alcanzar los resultados, de forma de ponderar el riesgo implícito en la inversión. Éste, a su vez, definirá la tasa de corte a ser utilizada para descontar los flujos de fondos del proyecto.

Un autor ampliamente citado es Brodman [Brodman1995], quien reporta retornos de inversión en el rango 5:1 a 7:1 como típicos en SPI en conjuntos representativos de compañías. Este criterio encuentra sustento en otros autores, como Dion [Dion1993], que presenta uno de los primeros reportes en la industria sobre retornos superiores a 7:1.

Por su parte, Walden [Walden2002] proporciona una visión esquemática de los impactos sistémicos de la mejora de madurez de procesos, que puede observarse en la Figura 2-9.

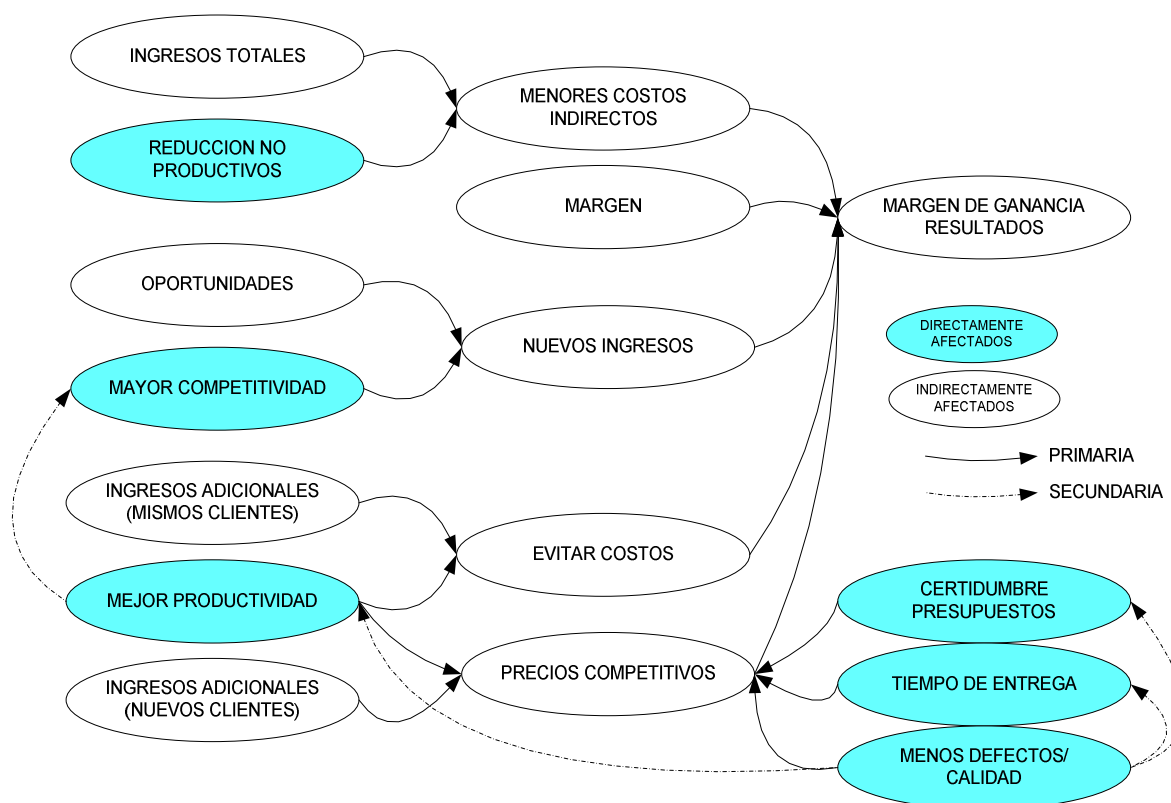


Figura 2-9 Visión Sistémica de los impactos organizacionales derivados de esfuerzos en SPI [Walden2002]

Las inversiones en SPI impulsarán mejoras en una o más áreas, tales como reducción de costos no productivos, mayor competitividad y mejor productividad; estos factores están, a su vez, relacionados entre sí. Las mejoras en aspectos puramente operacionales, como certidumbre en los presupuestos de costos, tiempos de entrega y menor cantidad de defectos, tendrán influencia primaria o secundaria en éstos y otros aspectos de la operación de la organización. El diagrama de

relaciones sugiere la existencia de relaciones virtuosas de refuerzo mutuo (directo o indirecto) entre los distintos factores. Cuando se observa la organización como un sistema, el resultado final resulta ser la mejora del margen de ganancias.

Por su parte, Staples [Staples2008] identifica la existencia de motivaciones organizacionales que contribuyen a la adopción de iniciativas de SPI mediante SEI-CMMI™. Distintos autores ([Capell2004], [Herbsleb1996], [McGarry2002], [Coleman2005], [Goldenson2003]) proporcionan visiones sobre los beneficios de la inversión en SPI utilizando SEI-CMMI™ como modelo de referencia en un rango muy amplio de organizaciones, industrias y geografías. Los autores mencionan que los beneficios ocurren en distintos aspectos del proceso tales como tiempos de desarrollo (*cycle time*), niveles de retrabajo (*rework*) o ahorros operativos. Estas diferencias dependerán de los objetivos de cada organización, pero todos ellos son consistentes en evaluar que la performance mejora como resultado de la inversión en SPI.

La visión expresada en la literatura respecto a las inversiones en SPI está a menudo concentrada excesivamente en los beneficios *ex-post*. Por su parte, se han realizado pocas contribuciones desde el ámbito académico para la formulación de una visión estructural del SPI como un sistema integral.

Retorno de Inversión (5 casos)	ROI
Mediana	500%
Mínimo	420%
Máximo	880%

Tabla 2-3 Retornos de inversión típicos para SPI basados en SEI-CMMI(TM) [Jones1996]

Por su parte, McGibbon [McGibbon1996] reporta que se obtienen ROI muy significativos en inversiones en SPI tal como se muestra en la Tabla 2-3. Para cinco casos reportados se expresan los valores de ROI mínimos y máximos esperados, así como la mediana obtenida.

Un conocido referente de la industria en materia de SPI es Rico [Rico2000], cuyos análisis de resultados son frecuentemente citados en publicaciones. Sin embargo sus aportes sólo hacen referencia a datos que difícilmente puedan ser utilizados para soportar casos concretos en otras firmas. A menudo, información clave como los costos se documentan solamente en valor absoluto y carecen del método de cálculo, o definición operativa, con lo que es imposible comprender qué incluyen y qué no. Es difícil acceder a información complementaria sobre esos reportes que permita evaluar las definiciones operativas de los datos recolectados, la metodología de validación utilizada y otros parámetros que ayuden a establecer su consistencia. Como resultado, no son pocos los reportes que utilizan variables denominadas de la misma forma para expresar cálculos diferentes.

Un ejemplo habitual es el ROI que, como se verá en el punto siguiente, tiene más de una definición. En ocasiones, incluso pueden observarse publicaciones que realizan comparaciones directas entre valores obtenidos mediante cálculos con diferentes definiciones sin reparar en las diferencias.

Una perspectiva de este problema es aportada por Van Solingen [VanSolingen2004], quien enfatiza la importancia de obtener evaluaciones adecuadas de la inversión. Esto se debe a que las mismas son necesarias para convencer a la gerencia de invertir dinero y esfuerzo en la mejora y que el enfoque basado en SPI puede resolver sus problemas estructurales, estimar cuánto esfuerzo se requerirá o cuándo cierto beneficio justifica el costo de obtenerlo, decidir qué programa de mejora se debe abordar primero, en particular si la organización tiene restricciones de tiempo y recursos, justificar la continuación de las iniciativas SPI basándose en los resultados pasados y la proyección de resultados que sean consistentes con las expectativas de la organización en el futuro. Además, las organizaciones deben asegurar que obtienen retornos adecuados para sus inversiones pues, caso contrario, enfrentarán la bancarrota en el largo plazo.

Otras referencias utilizadas para la construcción del análisis de la inversión, apelando a enfoques metodológicos robustos, son El Emam [ElEmam1997] y Keil [Keil2006].

2.7.1. Métodos para evaluar la inversión

La evaluación de la inversión realizada por una organización comienza por identificar todas las erogaciones que la misma requerirá, así como los beneficios esperables. En casos excepcionales, se asume la inversión como una condición de naturaleza legal, mandato estratégico corporativo o de adopción mandatoria por el contexto de las operaciones. Sin embargo, en la generalidad de los casos, primará el enfoque racional de negocios, que consistirá en exigir que la inversión tenga resultados positivos. Esto es, que lo que se obtenga de ella sea superior a las erogaciones realizadas para implementarla. Curiosamente, un número significativo de los esfuerzos capturados en la literatura de la industria parece concentrarse en los beneficios, incluso “*ex-post*” del esfuerzo. Rara vez se profundiza en los costos involucrados. De hecho, en la mayoría de los casos publicados se lo hace en forma indirecta vía el retorno de la inversión. Esta situación sugiere que no responden a un caso de negocios formal previo a su ejecución.

Usualmente, las metodologías de análisis combinan un marco metodológico de evaluación económico-financiera complementado con cierta especulación sobre los beneficios intangibles o estimación de riesgos cuya valuación es más difícil, de forma que los responsables de la decisión puedan sopesar los factores y adoptar un determinado curso de acción. En realidad, presentar como racionales a los actores obliga a asumir que la rentabilidad de la inversión es una condición suficiente. Sin embargo, existirán factores contingentes que los gerentes podrán considerar que hacen viable a la inversión al incorporar la esperanza de ingresos o egresos de realización incierta.

Las diferencias metodológicas, de las cuales sólo algunas serán exploradas aquí, consistirán en cómo los distintos factores son sopesadas e incorporadas en el análisis.

2.7.1.1 Evaluación económica de inversiones

La evaluación de inversiones es un área especializada de la administración y finanzas cuya discusión en detalle excede este trabajo. Se pueden consultar fuentes técnicas para ulteriores referencias [Brealey2000].

La forma más simple e intuitiva de estudiar una inversión consiste en considerar el resultado en términos de *costo vs. beneficio* (CB) de la misma, denominado análisis de *costo-beneficio*. Como su nombre lo indica, es la diferencia entre el total de los ingresos y el total de las erogaciones planeadas en el tiempo transcurrido desde el comienzo del esfuerzo hasta un momento futuro considerado como el *horizonte de inversión* t_p , es decir, un tiempo que se está dispuesto a esperar por los beneficios derivados. El costo-beneficio es calculado por la siguiente expresión:

$$CB = \sum_{t=0}^{t_p} I_t - \sum_{t=0}^{t_p} E_t \quad \text{Ec 1}$$

En esta expresión los sucesivos valores de los *ingresos* I_t y de las *erogaciones* E_t se agregan dentro del horizonte considerado t_p . Por convención, se denomina *origen del flujo de fondos* (tiempo $t=0$) a la primera erogación atribuible al proyecto. Cuando se realiza un análisis económico, el momento específico donde se incurren las erogaciones o se obtienen los ingresos no es realmente relevante. Sin embargo lo será cuando se introduzcan posteriormente consideraciones de tipo financieras.

Es claro que para que una inversión sea rentable debe satisfacer la condición que su costo-beneficio sea mayor a cero ($CB > 0$). Este mecanismo, simple e intuitivo, da una muy buena primera aproximación a la conveniencia de una inversión. De sólo primar consideraciones económicas, es condición suficiente que el costo beneficio sea negativo ($CB < 0$) para que no sea viable una determinada inversión.

Sin embargo, una organización típicamente enfrenta múltiples oportunidades y necesidades de inversión, mientras que los recursos son limitados. Por lo tanto, es necesario que cualquiera sea la metodología de evaluación utilizada, ésta permita comparar inversiones diferentes, incluso en áreas disímiles. Si se usara el costo-beneficio como criterio de selección de inversión se tenderá a privilegiar las inversiones de mayor magnitud debido a su capacidad de generar resultados mayores.

El *retorno de la inversión* (ROI) es una forma de estimar la bondad relativa de una inversión respecto de otra. Su expresión viene dada por:

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^{t_p} I_t}{\sum_{t=0}^{t_p} E_t} \quad \text{Ec 2}$$

Esta forma de evaluar la inversión no sólo presenta un indicador sobre si ésta es buena, dada por la condición de ROI mayor a uno ($ROI > 1$), sino que además permite comparar dos inversiones de propósitos y magnitudes diferentes en términos de sus bondades relativas. En este caso, la inversión con mayor ROI es la que recupera mayor beneficio por unidad de sacrificio que la organización insume.

No hay sólo una forma de computar el ROI. Bajo el mismo nombre, se suele expresar una variante ligeramente diferente que se centra ya no en los ingresos, sino en los *ingresos extraordinarios* que la inversión puede generar, tal como:

$$ROI = \frac{\sum_{t=0}^{t_p} I_t - \sum_{t=0}^{t_p} E_t}{\sum_{t=0}^{t_p} E_t} \quad \text{Ec 3}$$

Esta forma de expresar el ROI puede también verse como un costo-beneficio normalizado por magnitud, siendo su uso una cuestión mayormente de preferencias. Debe notarse, no obstante, que la condición de inversión deseable es ahora que el ROI sea mayor a cero ($ROI > 0$) y claramente debe cuidarse de entender qué método se usa en caso de ser necesario realizar comparaciones.

Ninguna de las medidas anteriores tiene en consideración la diferencia temporal entre las erogaciones y los ingresos. Sin embargo, las organizaciones tienen un deseo natural que los ingresos sean tan próximos en el tiempo como sea posible. De hecho, dos inversiones de igual ROI pero diferente perfil de recuperación de los ingresos deberían motivar que se prefiera la inversión con recuperos más tempranos.

El *repago* (*payback*) es un indicador de la bondad de una inversión expresada en unidades de tiempo. Su cálculo se basa en determinar el momento en el tiempo en el cual los ingresos acumulados superan a las erogaciones acumuladas. Puede ser utilizado por la organización en términos absolutos para, por ejemplo, no considerar inversiones cuyo repago sea superior a un tiempo dado definido como el horizonte de inversión t_p admisible. También puede ser usada como mecanismo de evaluación de calidad entre dos inversiones a partir de identificar como preferida la que genera el repago más rápido.

2.7.1.2 Evaluación financiera de inversiones

Nada impide considerar todos los indicadores previos y realizar una evaluación mediante la ponderación de todos ellos. Sin embargo, los principales métodos vistos hasta el momento tienen un

sesgo económico, es decir, evalúan la inversión en términos de sus erogaciones e ingresos absolutos pero sin tener en cuenta ni el tiempo ni el riesgo de la misma. Dos inversiones abismalmente diferentes en riesgo o en tiempo pueden dar perfiles de evaluación similares y aún así las empresas tenderán a elegir aquella que no sólo tenga resultados más rápidos sino también más ciertos.

Modelos como el *Capital Assets Pricing Model* (CAPM) [Brealey2000, Babbel1997, Bagley2000] permiten evaluar una organización en términos del precio de equilibrio que debería tener en el mercado basado en su valor y el riesgo que incurre para obtener rendimiento de sus inversiones. El *retorno esperado de la inversión* r vendrá dado por:

$$r = r_f + \Phi \quad \text{Ec 4}$$

Donde el componente de *premio por tiempo* estará determinado por la *tasa libre de riesgo* r_f y el componente de *premio por riesgo* está definido por el *diferencial por riesgo* Φ . Al valor del retorno esperado para las inversiones se le denomina *costo de capital* o *costo de oportunidad* r y es una variable central en las decisiones de índole económica financiera de una organización. El riesgo de un flujo de fondos es financieramente asociado a la incertidumbre o variabilidad de las fuentes que generan los fondos, de manera que, cuando la fuente es considerada absolutamente confiable o con poca incertidumbre, el costo de oportunidad converge a la tasa libre de riesgo r_f . En la medida que la fuente de flujos se hace más variable e incierta, el premio por riesgo se incrementa para tener en cuenta la incertidumbre que se introduce en los flujos. Se dice que descontar un flujo, es decir, afectarlo por el tiempo y el costo de oportunidad, es una forma de normalizarlo en tiempo y riesgo.

La técnica financiera de *flujo de caja descontado* (FCD o DCF por sus siglas en inglés *discounted cash flow*) permite obtener el *valor presente* (VP) de un flujo cualquiera aplicando un mecanismo de descuento, el cual será, para un valor único en un periodo arbitrario del futuro t :

$$VP = \frac{\text{Flujo}}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 5}$$

En caso que se trate de una sucesión de flujos $\{F_1, \dots, F_n\}$, ocurriendo en sucesivos periodos t dentro de un horizonte de tiempo entre 0 y t_p , se puede expresar el valor presente como:

$$VP = \sum_{t=0}^{t_p} \frac{F_t}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 6}$$

Por convención, se designa a los flujos de erogaciones como negativos mientras que a los de ingresos como positivos. Por lo tanto, es posible obtener el *valor presente neto* (VPN):

$$VPN = \sum_{t=0}^{t_p} \frac{I_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^{t_p} \frac{E_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^{t_p} \frac{(I_t - E_t)}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 7}$$

En esta expresión los sucesivos valores de I_t y E_t se van descontando al costo de oportunidad en cada período, siendo t el período en que ocurren. La condición de inversión viable está dada por

el VPN siendo mayor que cero y la condición de comparación deberá favorecer la inversión con mayor VPN, pues éste expresa magnitudes normalizadas en tiempo y riesgo [Brealey2000].

Idealmente el descuento de flujos puede extenderse arbitrariamente en el tiempo. Sin embargo, la contribución de cada flujo futuro se irá reduciendo paulatinamente y con mayor velocidad según la tasa de corte cambie. Así, cuanto mayor sea, más rápidamente los flujos futuros perderán relevancia para formar el VPN. Organizaciones de bajo riesgo, o sea de bajo costo de oportunidad, pueden esperar más tiempo para madurar sus inversiones mientras que organizaciones de mayor riesgo, o sea de alto costo de oportunidad, se ven precisados a obtener resultados comparables en menos tiempo.

Cuando una inversión produce flujos en forma indefinida hacia el futuro, o *flujos perpetuos*, es posible computar su VP como una anualidad [Brealey2000] según:

$$VP = \frac{\text{Flujo}}{r} \quad \text{Ec 8}$$

Donde se descuenta el *flujo recurrente Flujo* al costo de oportunidad r a perpetuidad. El flujo ocurre en todos los períodos y se asume que ambos están expresados en dimensiones de tiempo consistentes (Ej. mensual, anual, etc.). Es posible incorporar la corrección para el caso en que el flujo crezca a una *tasa de crecimiento* g definida y conocida con anticipación, transformándose en:

$$VP = \frac{\text{Flujo}}{(r - g)} \quad \text{Ec 9}$$

En realidad, los flujos pueden ser calculados por un tiempo prolongado pero no indefinido en el futuro; cuando los flujos de fondos F transcurren hasta un periodo final t_k el VP puede ser computado del siguiente modo:

$$VP = \frac{\text{Flujo}}{r} - \frac{\text{Flujo}}{r(1+r)^{t_k}} = \frac{\text{Flujo}}{r} \left(1 - \frac{1}{(1+r)^{t_k}}\right) \quad \text{Ec 10}$$

A los efectos de este cálculo se asume que los fondos son constantes en el tiempo para los periodos sucesivos. Esta expresión toma el VP de la perpetuidad como si durara indefinidamente, y le resta el valor presente de su valor futuro al momento de cesar.

Se considera que las organizaciones de tecnología, que ocupan el dominio que es objeto de investigación son de riesgo mediano a alto, tendrán un costo de capital relativamente alto (varias veces superior a la tasa libre de riesgo) y exigirán de sus inversiones retornos apropiados en tiempos concretos, usualmente dentro de un horizonte de inversión determinado y habitualmente corto.

En ocasiones no se conoce el costo de oportunidad y aún así se desea aplicar el ajuste por tiempo y riesgo. Una forma de hacerlo es a partir del cómputo de la TIR, la cual se calcula por mecanismos iterativos a partir de la Ec 7 para obtener la tasa o costo de oportunidad que sería

necesario aplicar para que el VPN sea cero. Esta tasa es también llamada a menudo *tasa de corte* de la inversión. Las inversiones con mayor TIR serán cualitativamente mejores, porque implican la necesidad de esperar menos tiempo o incurrir en menos riesgos, o ambos atributos a la vez. Aún así, no siempre es posible su cálculo puesto que el mecanismo iterativo de solución no siempre converge, de hecho, no lo hace si los flujos de ingresos y erogaciones presentan alternancia durante el horizonte de inversión explorado.

Otros mecanismos pueden derivarse a partir del descuento de flujos. El ROI y el repago pueden reformularse para usar flujos de ingresos y erogaciones descontados en lugar de directos, con lo que toman en cuenta tanto el premio por tiempo como por riesgo. Sin embargo, no agregarán información adicional a la ya proporcionada por el VPN.

Se considera en análisis financiero al VPN como la herramienta financiera más adecuada para evaluar inversiones [Brealey2000]. No hay ninguna evidencia en la literatura sobre condiciones especiales en organizaciones de TI que invaliden este instrumento en general e inversiones en SPI en particular. Sin embargo, la literatura rara vez estructura los análisis sobre resultados de SPI en términos de VPN.

2.7.1.3 Evaluación de inversiones como opciones

Hay autores que no coinciden en que el VPN sea el mecanismo más apropiado para evaluar inversiones en tecnología. De hecho, autores como Doraszelski [Doraszelski2001] opinan que es el peor enfoque posible.

Las opciones son productos derivados que le dan al tenedor el derecho a comprar o vender un activo, que se llama *subyacente*, a un precio que se fija contractualmente. La valuación de las opciones refleja el valor del activo subyacente y la flexibilidad adicional de decidir su compra o venta en función de la evolución del valor del mismo.

La valuación de activos mediante opciones ha estado hasta hace poco tiempo limitada a ciertos activos financieros gestionados por una elite de especialistas en mercados de derivados. Se considera que es difícil valorar un activo real mediante opciones si no hay un mercado capaz de establecer un valor para las mismas.

La gestión del desarrollo mediante procesos de alta madurez opera por etapas desplegadas en tiempos prolongados, e inherentemente permite diferir decisiones mediante inversiones incrementales que pueden exitosamente ser valuadas como opciones reales [Benaroch1999]. La esencia del argumento sostiene que los procesos de SPI permiten obtener mejoras que pueden ser proyectadas y medidas por técnicas de análisis financiero convencional pero, al mismo tiempo, dotan a la organización de herramientas para decidir diferentes cursos de acción en el futuro. Esa capacidad es la esencia del valor de una opción como instrumento y este valor debería ser

computado como producto de la estrategia misma de la inversión en SPI.

Boehm [Boehm2000b] identifica la importancia de introducir nuevas medidas para el valor en la discusión de los impactos económicos de las decisiones tecnológicas en general, como por ejemplo, mejoras de proceso. Por su parte, Erdogmus [Erdogmus2000] plantea las limitaciones de los métodos convencionales de valuación basados en descuento de flujos para capturar el riesgo asociado a inversiones tecnológicas, y propone utilizar activos negociados en mercados financieros pertenecientes a las empresas de TI como predictores del comportamiento y valor real de otros activos que no son negociados en activos financieros. Esto permite, por lo tanto, aplicar métodos de valuación de opciones a activos que, al no ser negociados en mercados, en principio no podrían valuarse con estas técnicas. Finalmente, Benaroch [Benaroch1999] también provee un marco teórico mediante el cual los modelos de valuación de opciones *Black-Scholes* y *binomial* pueden ser utilizados en forma aproximada en ausencia de mercados mediante hipótesis simplificadoras. Este enfoque es muy poderoso para realizar un modelado de valor y análisis de sensibilidad, evitando al mismo tiempo el engorroso problema de definir una tasa de descuento apropiada.

Estas dificultades y la ausencia de estos instrumentos en Argentina harían que su uso sólo tenga un valor teórico, por lo que es necesario abordar esta cuestión en el futuro. No obstante, no incluir el valor derivado de la capacidad de diferir una decisión transforma a cualquier evaluación en conservadora, pues omite considerar un aspecto que mejora el valor de la inversión pero que no implica erogaciones adicionales a la misma.

2.7.1.4 Evaluaciones basadas en intangibles económicos

Entre los beneficios de las iniciativas SPI, se encuentran aquellos de naturaleza intangible que, como tales, deben ser identificados por el proceso de decisión de la inversión y ponderados por los niveles ejecutivos en el contexto del caso de negocios. No obstante, es difícil realizar evaluaciones objetivas debido a su naturaleza intangible, y por lo tanto, ponderarlos en un pie de igualdad con enfoques más duros, como los recientemente discutidos derivados del análisis económico-financiero. Sin un marco de referencia es natural, entonces, la tendencia a no ponderar su contribución apropiadamente o, en el otro extremo, considerar su peso tan exagerado al punto que el proceso de decisión del caso de negocios lo dominen las consideraciones intangibles.

Los factores intangibles pueden, sin embargo, ser incluidos en un caso de negocios mayormente dominado por factores tangibles. Un novedoso enfoque basado en la consideración del método de *fuerzas de Torcida* para la estimación de estos beneficios es presentado por Boria [Boria2002].

Para mantener la generalidad del planteo y al mismo tiempo superar la dificultad de no poder modelar sistémicamente aspectos subjetivos como los indicados, se aplicará el criterio que los

aspectos organizacionales intangibles, tales como la satisfacción de sus empleados, accionistas, clientes, clima laboral y otros, contribuirán en definitiva a la viabilidad de la organización en el largo plazo, provocando que la misma opere con un nivel de riesgo menor. El riesgo es, en definitiva, capturado por el costo de oportunidad en el análisis financiero considerado en el modelo de evaluación a través de ese mecanismo.

2.7.2. Valor presente neto en proyectos SPI

Como consecuencia de la discusión precedente el VPN resulta adecuado como instrumento de análisis económico-financiero para estudiar la viabilidad de las inversiones. La literatura destaca la potencia de esta metodología para evaluar tanto las magnitudes de fondos involucrados como los premios adecuados por tiempo y riesgo. Aún así, resta reflexionar sobre su aplicabilidad en el marco de una inversión SPI. Esto ocurre porque una inversión, objetivamente atractiva en términos de su VPN, puede no resultar viable para una organización debido a no estar de acuerdo a la escala en que opera, o por exceder los recursos que ésta pueda asignar a su despliegue.

En el caso específico de las inversiones en SPI, el sacrificio para las organizaciones consiste mayormente en asignar fracciones, incluso significativas, de su mejor talento para impulsar las transformaciones necesarias para el despliegue. Esta situación conduce usualmente a la necesidad de desplegar la iniciativa SPI en un marco de recursos restringidos.

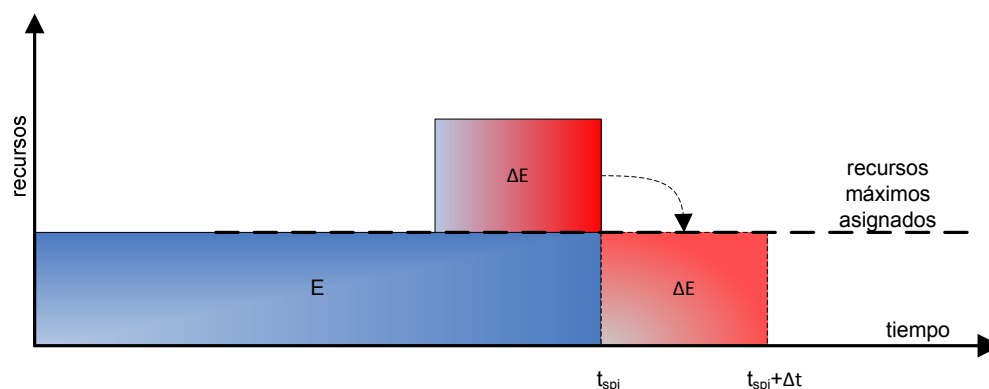


Figura 2-10 Despliegue SPI bajo condiciones de restricción de recursos

Una organización cuando opera con restricciones de recursos realiza compromisos entre esfuerzo y tiempo para completar sus proyectos. La Figura 2-10 muestra esquemáticamente la situación. Cada vez que los recursos requeridos por una iniciativa, representados por una magnitud del esfuerzo empleado E , exceden lo que la organización puede asignar en una magnitud ΔE , el bloque de actividades relacionadas y sus esfuerzos se deben priorizar para otro momento en el tiempo donde exista disponibilidad de recursos para realizarlo.

Las tareas que se desarrollan a continuación pueden provocar la extensión del proyecto en una magnitud Δt respecto del tiempo de finalización que hubiera sido posible de no mediar la restricción de recursos. Seguramente podrán operar otras restricciones y dependencias más complejas que la descripta. Al mismo tiempo, no todos los cambios de prioridad necesariamente implican la extensión de la duración del proyecto, sólo las de aquellas que estén en el camino crítico tendrán este efecto.

La guía de la inversión basada en VPN inducirá, por otra parte, a tratar de reducir los tiempos de despliegue en la mayor medida posible. De esta forma, los beneficios que se obtendrán al finalizar el proyecto lo harán lo más rápido y temprano en los calendarios que fuera posible. Al mismo tiempo, todos los costos que tengan flexibilidad en sus calendarios deberán incurrirse lo más tarde posible para reducir su impacto en el valor presente neto.

Cabe preguntarse entonces si el VPN es una guía adecuada para ser aplicada en una situación de restricción de recursos tal como seguramente es un despliegue de SPI, en especial en organizaciones PyMEs, o si, por el contrario, operando en condiciones de restricción, otras limitaciones motivarán que la organización deba acomodar su despliegue SPI a realidades que hacen un ideal inalcanzable el pronóstico basado en VPN.

La literatura que aborda la cuestión de planeamiento con restricciones [Zhang2000] propone formular los planes de despliegue de la iniciativa, sin reparar en los recursos disponibles, de acuerdo a lo que determine la utilización del método de *camino crítico* (critical path method – CPM). Este método determinará el planeamiento óptimo en términos de calendario con la hipótesis de recursos infinitos. De esta manera, se asume que las restricciones provienen de la duración de las tareas y sus dependencias de sincronización y paralelismo únicamente.

Una vez que se cuenta con el plan optimizado a recursos infinitos, se empieza a aplicar heurísticas ad-hoc haciendo que las tareas se desplacen en el tiempo de forma que no se excedan los recursos disponibles, utilizando como guía la maximización de una función de utilidad dada. El problema de resolver un plan óptimo con restricciones de recursos se considera como *NP-Complete*, lo que reduce las esperanzas de obtener soluciones globalmente óptimas.

Una forma posible de realizar la optimización es recurrir a la técnica de *aprendizaje por refuerzos* (reinforced learning) [Sutton2003]. La solución de problemas de *job shop scheduling* ha sido abordado en sucesivos trabajos por Zhang & Dietterich [Zhang1995], quienes se concentran en proyectos que deben desenvolverse en contextos de restricción y que pudieran necesitar recursos de distinto tipo, cada uno provisto desde una fuente o “pool” con su capacidad máxima.

Para acomodar los excesos en los recursos se pueden desplazar las actividades que los ocasionan, tal como se expuso previamente.

Por lo tanto, se considerará el problema de la capacidad de recursos desde el punto de vista de un plan que deberá ejecutarse sin involucrar más personal que el asignado, proviniendo el mismo de una única locación geográfica (pool único) y siendo similares sus competencias (skill).

Una vez identificadas, las tareas en estas condiciones deben ser movidas en el tiempo a momentos donde exista disponibilidad de recursos que se les pueda asignar. Si durante la duración del proyecto, tal como fue obtenida por el método de camino crítico, no existe excedente de recursos que permita satisfacer esta condición, entonces la finalización del proyecto se extiende de forma de hacer uso de los recursos disponibles por más tiempo.

En términos prácticos, se le aplica un desplazamiento Δt (shift) al tiempo más temprano de ejecución de forma que no empiece hasta el momento en que existan recursos disponibles.

Si la tarea desplazada pertenece al camino crítico, cualquier corrimiento del momento más temprano de ejecución producirá la extensión del proyecto completo, mientras que, si la actividad no forma parte del camino crítico y este desplazamiento es menor que su margen libre, no impacta en la extensión total del proyecto. Naturalmente cualquier heurística de solución debería tener en cuenta, como primer paso de optimización, intentar asignar los excedentes de recursos mediante movimientos de tareas no pertenecientes al camino crítico y dentro de su margen libre.

En el enfoque propuesto por Zhang se apela a producir la optimización mediante la utilización de coeficientes basados en la mejora en la utilización de recursos respecto al plan de partida. Para realizarlo se comienza por definir una *función de utilización de recursos* $RUI(i,t)$ (resources utilization index) para el recurso de tipo i en el tiempo t tal que:

$$RUI(i,t) = \max \left\{ 1, \frac{u(i,t)}{capacity(i)} \right\} \quad \text{Ec 11}$$

Donde $capacity(i)$ es la capacidad total, supuesta fija durante la duración del plan, del i -ésimo recurso (supuestos múltiples recursos concurrentes) y $u(i,t)$ la utilización del mismo i -ésimo recurso en el periodo t . Si el recurso no está excesivamente utilizado el RUI es 1; en caso contrario es mayor que uno en proporción a su asignación en exceso.

El índice de utilización total $TRUI$ para un plan de duración t_{spi} es la suma de todos los índices de utilización para todos los recursos involucrados n .

$$TRUI = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{t_{spi}} RUI(i,t) \quad \text{Ec 12}$$

$$RDF(s, s_0) = \frac{TRUI(s)}{TRUI(s_0)} \quad \text{Ec 13}$$

Dadas estas definiciones, se introduce el concepto de *coeficiente de dilación de recursos*

(Resource Dilation Factor RDF) comparando la utilización total para un estado cualquiera s comparado con un estado de referencia s_0 .

Zhang & Dietterich proponen utilizar el factor RDF como función de refuerzo, y proporcionan evidencia que la solución converge empíricamente al óptimo de utilización de recursos al hacerlo. El RDF, entonces, identifica los desbordes de recursos respecto a la capacidad máxima de asignación disponible pero no captura componentes de premio por tiempo y por riesgo típicamente presentes en inversiones bajo contextos de negocios. Sin embargo, el algoritmo asegura la asignación de recursos que la organización tuviera que verse forzada a estipular.

Para evaluar el comportamiento de un proyecto donde se utiliza como objetivo el VPN, se aplica como función de utilidad bajo un contexto de asignación de recursos con restricciones [Colla-Martinez2007]. Al hacerlo, naturalmente el algoritmo tenderá a buscar su óptimo restringido por la disponibilidad de recursos. Comparando la respuesta y aprendizaje de sistemas usando RDF y VPN, podrá comprobarse cuál de los dos conduce a mejores propuestas de valor económico-financiero, aún en condiciones de restricciones.

La evaluación es realizada mediante la implementación de una red simplificada de actividades, consistente con la adquisición de una madurez según SEI-CMMI™ en nivel 2. Para ello, se utilizan diferentes configuraciones de tiempos estimados por actividad y niveles de restricción de recursos.

El resultado de la evaluación [Colla-Martinez2007], muestra que el VPN, cuando es utilizado como función de utilidad, obtiene consistentemente mejores resultados de valor que su alternativa como función de utilidad, el RDF, bajo distintas hipótesis de restricción. Este resultado valida preliminarmente la hipótesis que el VPN puede ser usado como indicador adecuado de la viabilidad de la inversión en SPI aún en condiciones de restricción de recursos, como las que seguramente presentarán las organizaciones PyMEs al abordar su mejora de madurez.

2.7.3. Erogaciones

Cualquiera de los métodos de evaluación discutidos previamente requiere predecir con cierta precisión tanto los flujos de ingresos como de erogaciones. Los factores a tener en consideración durante el análisis de las erogaciones (costos) son analizados por Walden [Walden2002]:

- Desarrollo de una infraestructura para la creación, mantenimiento y ejecución del proceso de creación de software.
- Obtener el compromiso organizacional técnico y gerencial necesario para la implementación e institucionalización de procesos adaptados o nuevos.
- Aplicación de recursos a la creación de una estrategia (hoja de ruta) que guíe el proceso y

mecanismos para su monitoreo y control.

- Inversiones y gastos para implementar e institucionalizar tecnología y herramientas.
- Expensas para sostener eventos de evaluación de procesos informales y formales (externos), así como actividades de comparación competitiva (benchmarking).

Algunos valores que se pueden considerar típicos son mostrados en la Tabla 2-4

Elemento de Costo	Valores Esperables
Grupo de Ingeniería de Software (SEPG)	2% al 10% del Staff
Costos de Evaluación de Nivel de Madurez	USD 40-100K por evento
Esfuerzo de Evaluación	~400 Horas Staff por Evento
Esfuerzo de Entrenamiento	4 a 8 Horas por Area por Persona

Tabla 2-4 Elementos de Costo de SPI a considerar [Walden2002]

El problema de capturar costos realistas para los eventos de evaluación requeridos por el marco establecido en SEI-CMMI™ es estudiado por Coleman [Coleman2005]. Por su parte, Van Solingen [VanSolvingen2004] enfatiza que el cálculo de costos y beneficios debe ser rápido y pragmático pero, al mismo tiempo, estar sostenido en criterios de análisis económicos con sólidos fundamentos teóricos, de forma que pueda ser comprendido y abrazado por los niveles de decisión que deberán apoyar la iniciativa.

2.7.4. Beneficios

El modelo de valuación deberá capturar también los distintos componentes de beneficio de las iniciativas SPI que son reflejados en la bibliografía explorada:

- Mejora en los ingresos como producto de la capacidad de brindar mejores/más servicios a los clientes actuales o incursionar en nuevos mercados o nuevos clientes.
- Mejora en la rentabilidad como resultado del menor re-trabajo (menos defectos), el menor esfuerzo (mayor productividad) y el mejor ciclo de proceso (predictibilidad de calendario), es decir, los aspectos internos de la mejora del proceso.
- Mejoras en el valor de activos subyacentes al software que se deriven del menor riesgo en el que opera la organización luego de implementar iniciativas SPI, al poder pronosticar con mayor certidumbre calendario, calidad y costo.

Como se ha visto anteriormente, tampoco se debe omitir la mejora en aspectos intangibles, tales como imagen organizacional, motivación del personal, satisfacción del cliente y cultura organizacional, entre otros.

2.7.4.1 Mejora en los ingresos

Las propuestas para implementar SPI con el fin de lograr mejor performance en la creación de software, omiten la posibilidad que estos esfuerzos no sean económicamente eficientes en todos los escenarios de negocios. Por lo tanto, las organizaciones deben selectivamente implementar sólo aquellas prácticas que prometan una saludable posibilidad de proveer resultados positivos.

Una de las fuentes de ingresos será desde clientes existentes, posiblemente a partir de una mayor penetración en los servicios provistos, un incremento en la complejidad de los mismos, o ambos simultáneamente. Al mismo tiempo, las capacidades competitivas desarrolladas como resultado del SPI pueden permitir acceder a nuevos clientes o mercados donde la entrega de proyectos en condiciones de alta calidad, plazo de entrega consistentemente cumplido y dentro de presupuesto sean barreras de ingreso substanciales.

La Fuerza Aérea de los EEUU, en su reporte DACS [McGibbon1996] señala la importancia de utilizar niveles de madurez objetivamente evaluados según el modelo SEI SW-CMM, o por extensión SEI-CMMI™, para obtener ingresos por repetición de negocios con clientes existentes.

La bibliografía provee escasas referencias sobre el impacto en el ingreso de las organizaciones. Al respecto, Walden [Walden2002] señala la alteración del ingreso por ventas o participación de mercado (*market share*) a partir de la probabilidad adicional de ganar nuevos negocios y fija su magnitud en 5% por cada nivel de maduración del modelo SEI SW-CMM. Esta conclusión puede ser extendida conceptualmente a SEI-CMMI™. De todos modos, es difícil creer que esto sea la totalidad de la mejora de ingresos. Es más razonable suponer que la dirección tiene claro en su marco estratégico qué proporción de los flujos marginales de ingresos futuros no serían alcanzables de no operar en un nivel de madurez más alto. En todo caso, desarrollar los elementos de investigación que permitan comprender mejor este aspecto será un trabajo que deberá ser abordado ulteriormente.

Por su parte, Bhat [Bhat2006] enumera, entre las mejores prácticas de proceso para lograr éxito en emprendimientos de tipo offshore, la utilización de una forma definida de trabajar en el marco de un proceso evaluado bajo el modelo SEI SW-CMM.

2.7.4.2 Mejora en la performance

No debería extrañar en una industria plagada de historias sobre proyectos con retrasos significativos, excedidos en su presupuesto y con pobre calidad [Hayes1995, McGibbon1996, Galin2006], se hayan propuesto las iniciativas en SPI como el remedio a estos males. Las referencias industriales son virtualmente incontables respecto a los resultados, y el abanico de soluciones candidatas es igualmente importante. En este contexto es abundante la evidencia anecdótica sobre la correlación positiva entre mejoras de proceso y mejoras sustantivas de productividad, reducción de defectos y menor tiempo de desarrollo.

Bannerman [Bannerman2008] nos brinda una visión amplia, donde los beneficios de la mejora de procesos generalmente son alcanzados por las organizaciones bajo estudio, pero donde existe el riesgo que las mejoras de performance no sean automáticamente obtenidas como resultado del esfuerzo SPI. Además, sostiene que es necesario planear cuidadosamente los beneficios que obtendrá la organización como parte integral de la decisión de abordar SPI.

El SEI [Gibson2006], en uno de sus reportes técnicos muestra además que los resultados son repetibles en diferentes industrias. Por su parte, Hefner [Hefner2005] ayuda a comprender que la medición no siempre es sencilla de realizar en términos objetivos, sugiriendo que los resultados reportados deben tomarse como conservadores.

Según Agrawal [Agrawal2007], hay mejoras diferenciales que pueden ser obtenidas al alcanzar los niveles más altos de madurez. Esto es importante porque en ocasiones se asume que habrá escasa justificación para que una organización progrese por encima de los niveles de madurez iniciales (Nivel 2 o Nivel 3), desalentando la inversión y foco organizacional adicionales necesarios para progresar a niveles más altos de madurez (Nivel 4 y 5).

Jung [Jung2008] captura, entre muchas otras referencias en el mismo sentido, una correlación significativa entre mejoras en el *ciclo de entregas* (*cycle time*) y niveles de madurez de SEI-CMMI™. Díaz [Diaz1997], por su parte, es uno de los autores más citados a partir de sus experiencias en la empresa Motorola. Sus aportes se muestran en la Tabla 2-5, donde las líneas de base en calidad, tiempo de respuesta del proceso y productividad mejoran en la medida que se progresa en los niveles SEI SW-CMM.

Nivel SW-CMM	Calidad (IPD/MAELOC)	Tiempo Proceso (X Mejora)	Productividad Relativa
1	N/A	1	N/A
2	890	3.2	1
3	411	2.7	0.8
4	205	5	2.3
5	126	7.8	2.8

Tabla 2-5 Performance en Motorola [Diaz1997,Diaz2002]

No hay consenso entre los autores sobre la mejor forma de medir la calidad de proceso. La utilizada en esta referencia relaciona los defectos encontrados durante el proceso (*“in process defects”* en inglés, o IPD) con el tamaño del software medido en millones de líneas de código equivalentes assembler (*“mega assembly equivalent lines of code”* o MAELOC). La *productividad* es definida en forma convencional como unidades entregadas por unidad de esfuerzo y el ciclo de

desarrollo medido en unidades de tiempo.

Dada la dificultad de establecer un marco homogéneo de unidades de medida en la industria, los estudios se refieren usualmente a variaciones relativas en la línea base entre diferentes niveles de madurez. Paulisch [Paulisch2008] menciona casos prácticos concretos de mejoras sustantivas en el grado de retraso que las organizaciones experimentan en sus entregas, los que son consistentes con lo pronosticado por el modelo de Knox [Knox1993].

Knox presentó un modelo de evolución del costo total de calidad experimentado por una organización en la medida que progresa en su nivel de madurez. Este modelo fue formulado originalmente como marco teórico para justificar SEI SW-CMM, pero también es citado rutinariamente como soporte teórico de SEI-CMMI™, puesto que los mecanismos en los que se basa están presentes en el mismo.

Incluso Rubio [Rubio2006] muestra la oportunidad de incorporar beneficios usualmente no considerados, tales como los relacionados con el planeamiento temprano de proyectos. Estos beneficios además están relacionados con áreas de proceso desplegadas en etapas muy tempranas de los procesos SPI.

Hay varias interpretaciones posibles sobre las razones por las que la mejora en la madurez del proceso se correlaciona bien con mejoras en la performance de la organización. La más habitual identifica la reducción de defectos como el motor de mejoras significativas, también en cumplimiento de calendarios y metas presupuestarias. Esta interpretación es incluso intuitiva ya que una parte substancial del ciclo de vida de desarrollo de software en organizaciones de baja madurez se insume en el retrabajo, el cual es frecuentemente subestimado en su magnitud y pobremente planeado en sus tiempos. Al reducir los defectos se reduce también el CoPQ, y con ello se acorta el ciclo de desarrollo y se incrementa, por lo tanto, la productividad.

Al respecto, Harter [Harter1998] refiere una relación directa entre mejoras de calidad y reducciones de ciclo de proceso y esfuerzo (productividad). En definitiva, se aplica el modelo conceptual que considera que la “calidad es gratis” propuesto por Crosby, Juran y Gryna [Gryna2007]. El esfuerzo de retrabajo no cambia sustantivamente el tamaño del software pero incrementa el esfuerzo necesario para su desarrollo. Su reducción drástica debida a la mejor calidad mejora la productividad y el tiempo de desarrollo.

En la Figura 2-11 se muestra la evolución alcanzada a medida que la organización progresa de nivel de madurez, de acuerdo a los pronósticos del modelo de Knox. El CoQ está formado por diferentes elementos de esfuerzo tales como el *costo de retrabajo* por fallas detectadas (internas o externas), el *costo de evaluación* (diferentes formas de validación y verificación) y el *costo de prevención*. El costo de retrabajo es el esfuerzo necesario para reparar y verificar los errores

introducido por el proceso de desarrollo mismo. El costo de evaluación es el esfuerzo necesario para asegurar que el software cumple con los requerimientos, mediante acciones de verificación y validación. Finalmente, el costo de prevención es el conjunto de esfuerzos necesarios para aplicar metodologías que eviten que se introduzcan defectos en el software bajo desarrollo.

Una organización que no ha transitado esfuerzos SPI y que, por lo tanto, opera en un nivel de madurez 1 se encontrará realizando esfuerzos en calidad que serán una proporción muy grande del costo total del proyecto, en torno al 60% según el modelo bajo discusión. Este costo está primordialmente compuesto por el esfuerzo de retrabajo, a partir tanto de fallas externas (detectadas y reportadas por el cliente) o internas (detectadas y reportadas internamente).

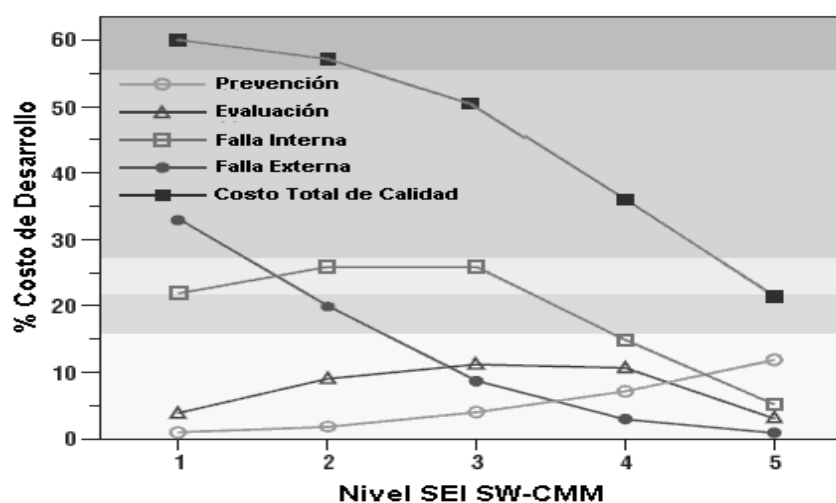


Figura 2-11 Costo de Calidad como proporción del costo total para SEI SW-CMM [Knox1993]

A medida que la organización alcanza el Nivel 2 de madurez como resultado de sus esfuerzos iniciales en SPI, se produce una caída moderada en el CoQ, pero una notable disminución del CoPQ debido a fallas descubiertas en forma externa a la organización, por ejemplo por clientes o asociados. Dicho de otra forma, la organización invierte algo menos de esfuerzo en calidad pero mejora significativamente la percepción de la misma por parte del receptor del software, quien observa menos defectos. Éstos son, aunque a un costo aún significativo, detectados principalmente en forma interna.

El Nivel 3 no solamente produce una disminución adicional del CoQ, sino que comienza a cambiar la proporción donde se aplica el esfuerzo para lograrlo. Siguen siendo significativos los esfuerzos para corregir internamente los defectos, pero ahora el esfuerzo de evaluación (validación y verificación) supera al de retrabajo por fallas externas. Para los niveles 2 y 3 iniciales la reducción neta del costo de calidad es modesta y en el orden del 10%. Por las consideraciones ya discutidas,

esto se traduce en una mejora de la productividad del mismo orden.

Ahora bien, cuando la organización continúa progresando en su nivel de madurez, el CoQ sigue reduciéndose, incluso a mayores tasas de cambio, hasta ubicarse en el entorno del 25% de esfuerzo. Está compuesto mayormente por esfuerzos asociados a la prevención más que a la evaluación, y mucho menos al retrabajo. Dicho de otra forma, la organización evita introducir errores y con ello se ahorra no sólo el costo de retrabajo de removerlos, sino también el costo insumido en la cadena de valor asociada. Esta reducción se expresa entonces como una mejora neta de la productividad.

Por su parte, Statz [Statz2002] refleja mejoras de productividad entre 4 y 11% dependiendo de la naturaleza y complejidad del proyecto sólo por migrar de SEI SW-CMM Nivel 2 a Nivel 3. McLain [McLain2001] recolecta a través de estudios de campo una correlación positiva entre el nivel de madurez SEI SW-CMM, la productividad, el ciclo de proceso y la calidad, al mismo tiempo que prueba la ausencia de variaciones significativas derivadas de la industria y la cultura organizacional. Por su parte, Eickelmann [Eickelmann2004] provee una visión más sistémica donde el principal beneficio de los incrementos de madurez se traduce en la reducción drástica del esfuerzo de re-trabajo primero y del costo global de calidad luego, según lo pronosticado por el modelo de Knox, previamente discutido.

Dos trabajos en esta área corresponden a Clark [Clark1997, Clark2000], quien reconoce en los mismos la inherente dificultad para definir productividad y concentra su atención en evaluar el impacto de la mejora de nivel de madurez en el esfuerzo de desarrollo. En sus trabajos encontró que, efectivamente, hay correlación significativa entre reducciones del esfuerzo de desarrollo y niveles crecientes de madurez para proyectos similares. Sobre una muestra de 161 organizaciones ejecutando proyectos de un tamaño medio de 141 KLoC (*miles de líneas de código* o en inglés *lines of code LoC*) y mediana de 47 KLoC, pudo documentar reducciones de esfuerzo entre 4 y 11% por cada nivel, siendo 8% por nivel el resultado más probable para el tamaño medio de proyectos.

La Figura 2-12 identifica mejoras concretas e importantes en el esfuerzo consumido en desarrollo de software por cada nivel de madurez avanzado, sobre todo en proyectos pequeños y medianos. Si bien el autor elige expresar la mejora en términos del esfuerzo insumido, a igual tamaño del código se traduce en forma directa en mejora de productividad.

La conclusión, en resumen, es que la reducción de esfuerzo en actividades que no generan código adicional necesariamente implica un incremento de la productividad, al mismo tiempo que evitar esfuerzos de re-trabajo, verificación y validación necesariamente tiene impacto en el costo total y el calendario del proyecto.

La mejora de productividad es particularmente apropiada para modelar los beneficios de

mayor eficiencia de proceso derivados de la adopción de iniciativas SPI, por lo que será utilizada en la formulación posterior de un modelo sistémico.

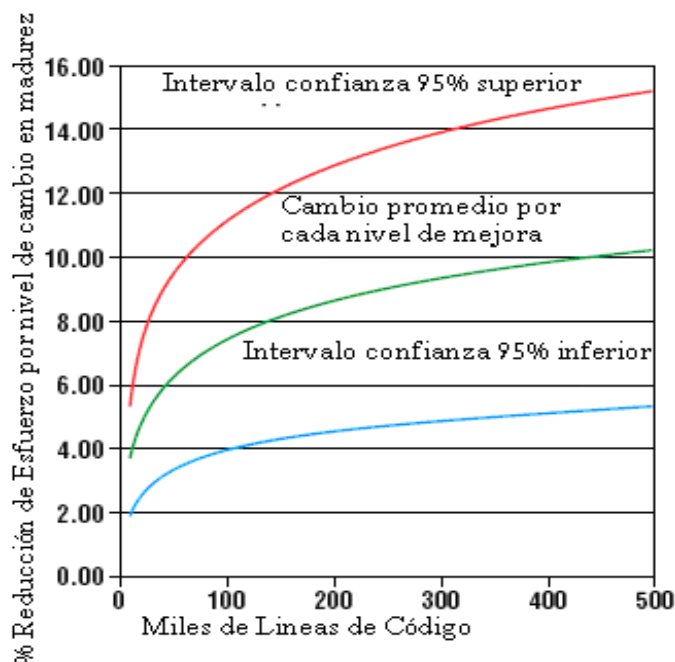


Figura 2-12 Mejoras de Esfuerzo con nivel SEI SW-CMM [Clark2000]

No obstante este autor evita, cuidadosamente, expresar esta reducción directamente como una mejora de productividad. Se asume que esto se debe a que, probablemente, la productividad es el concepto más mencionado en la industria de software y uno de los menos abordados sobre bases rigurosas. Sin embargo, no es posible soslayar que, si a igualdad de tamaño el esfuerzo es menor, esto significa una mejora de la productividad.

2.7.4.3 Mejoras en la valuación de activos subyacentes

Las organizaciones de desarrollo no tienen como propósito central realizar proyectos e inversiones para implementar SPI. Estas iniciativas son realizadas para mejorar su madurez y capacidad de desarrollar software para sostener una actividad económica de alguna índole. Esta actividad puede tener por propósito desarrollar software para crear algún producto o proveer un servicio. También puede estar desarrollando un software que ayudará a consolidar la inversión que está realizando un cliente para crear bienes o proveer servicios.

Sin embargo, los esfuerzos en SPI modifica las características del resto de las inversiones que estén relacionadas con el desarrollo de software. Debe considerarse en esta perspectiva que el software bajo desarrollo es, en realidad, usualmente un facilitador o componente de un activo subyacente mayor, que puede ser una actividad, un producto o un servicio.

El flujo de fondos de la inversión total para crear u obtener este activo en el que intervenga la organización tendrá magnitudes definidas por la naturaleza de ese activo. Sin embargo sus flujos

futuros de ingresos serán controlados por el proceso de creación del software, de tal manera que éstos no comiencen hasta que el software esté terminado.

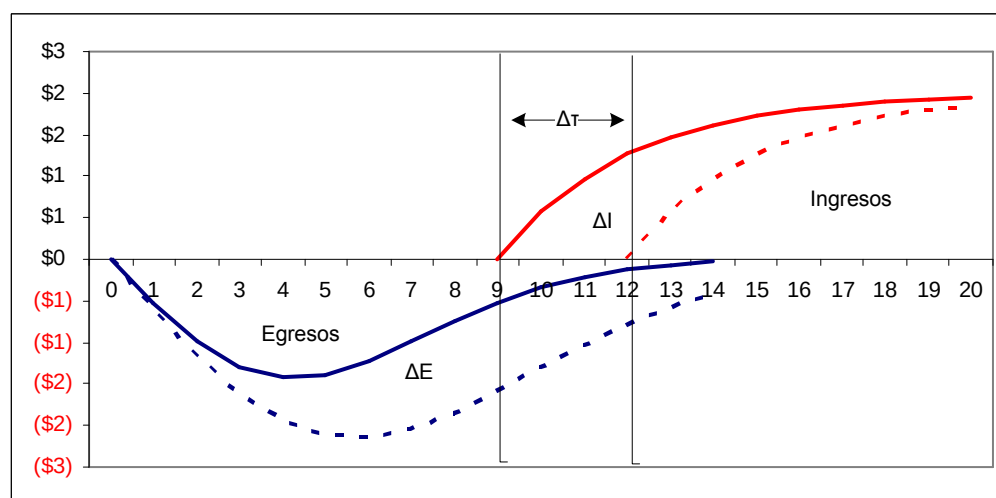


Figura 2-13 Ejemplo hipotético de flujo de gastos e ingresos de fondos de proyecto de desarrollo

La Figura 2-13 muestra conceptualmente la evolución del perfil de flujos de fondos de un hipotético desarrollo de software. Para realizar el desarrollo se incurrirá en gastos (Egresos), que se representan como flujos negativos de fondos. Al cabo de un tiempo, el desarrollo se completa y da lugar a que el activo relacionado empiece a generar ingresos (Ingresos). La situación original se representa en la figura mediante las líneas llenas y tanto los montos de los flujos de fondos como la escala de tiempos son a modo de ejemplo. Si el desarrollo sufre retrasos, el escenario deriva en la situación representada por las líneas punteadas. Los egresos serán más significativos, pues se debe incurrir en un *esfuerzo adicional* ΔE , representado en este caso por la diferencia en las áreas bajo la curva del perfil de ingresos original y el modificado. La diferencia de egresos llevará también asociado un *retraso de tiempo de entrega* $\Delta \tau$. Como, bajo las hipótesis del ejemplo, los ingresos no ocurrirán hasta que se complete el software, sufrirán entonces un retraso de magnitud $\Delta \tau$. La nueva curva de ingresos estará desplazada en el tiempo y la diferencia entre la curva original y modificada es el área indicada como ΔI .

En términos económicos, el único factor capturado es el costo adicional requerido por el esfuerzo ΔE , puesto que si bien los ingresos se desplazan en el tiempo su magnitud no se altera necesariamente. Sin embargo, cuando se analiza esta situación desde una óptica financiera, el desplazamiento de los ingresos tiene impactos en el valor del proyecto.

En situaciones de proyectos de inversión representativos, los ingresos serán mucho mayores que los egresos, asumiendo actores económicamente racionales. Por lo tanto, las erogaciones

realizadas durante el proyecto de software “modularán” los ingresos en cuanto a su ocurrencia. De este modo, definirán el riesgo del proyecto al ser la principal razón de la incertidumbre de los mismos.

Esto ocurre porque variaciones en la ejecución del proyecto definirán mayores costos, debido al esfuerzo adicional necesario ΔE que, al incrementar los costos, reduce el VPN. Además, los ingresos se desplazarán hacia el futuro en una magnitud $\Delta \tau$ reduciendo, a igualdad de costo de oportunidad, aún más el valor presente del proyecto.

Es posible evaluar esta variación de manera cuantitativa usando la expresión del VPN (Ec 7). La sucesión de flujos de *ingresos* I_t y de *egresos* E_t son descontados al costo de capital r y por lo tanto sus valores presentes se alterarán por los desplazamientos temporales supuestos en este caso. Entonces, el primer factor se reducirá en la medida que se desplacen hacia el futuro los flujos de ingresos, mientras que el segundo se incrementará en la medida que se encuentren mayores costos. Ambos efectos se combinan para reducir el VPN y, por lo tanto, la valuación total del proyecto.

Al existir incertidumbre sobre costos y tiempos de disponibilidad, el proyecto debería considerarse más *riesgoso* [Harrison2001a]. Por lo tanto, sus operadores deberían requerir incrementar su *costo de oportunidad* (r) (exigir mayores retornos de inversión) para compensar.

Si la organización cambia sus procesos internos mediante la inversión en SPI, se incrementa su habilidad para reducir retrasos en los ciclos de desarrollo y completar proyectos dentro de los presupuestos estimados. Ambos efectos disminuyen el riesgo con el que se opera y por lo tanto debe variar el valor total del proyecto en que participa y no sólo del software bajo desarrollo que los posibilita.

Toda inversión en SPI que reduzca o elimine las fuentes de variación de esfuerzo o tiempo de entrega, producirá como consecuencia un incremento en la valuación de las inversiones que estén relacionadas con el desarrollo de software. Este incremento se debe considerar, naturalmente, como un retorno del esfuerzo de SPI aunque los momentos y flujos de fondos no sean coincidentes, es decir, pertenezcan a distintas iniciativas de inversión.

El modelo general para el análisis de riesgo en proyectos de inversión de capital desarrollado por Hertz [Herzt1979] es adaptado como marco conceptual para la incorporación del riesgo en esfuerzos SPI. Por su parte, Van Groenendaal [VanGroenendaal1997] explora la utilidad del análisis estocástico para la evaluación de riesgo económico derivado de incertidumbre, a partir de la utilización del *método de Montecarlo*. Esta técnica también será utilizada en la formulación del modelo sistémico desarrollado en esta tesis. Este efecto se puede describir como que el esfuerzo SPI influencia (“*apalanca*”) el valor de la inversión total, pues contribuye a reducir su incertidumbre y por lo tanto incrementa su valor, y se lo denominará *apalancamiento financiero del SPI*.

2.8. Otros enfoques para implementar SPI

El foco proporcionado a SEI-CMMI™ como el instrumento básico para guiar los esfuerzos en SPI, que resulta el eje de este esfuerzo de investigación, amerita preguntarse qué dicen los autores que tienen un punto de vista diferente.

Por ejemplo, Rifkin [Rifkin 2002] sostiene que concentrarse en SPI conduce a que la organización quite su foco en la innovación como fuente de mejora. Como se ha discutido previamente, éstas no son necesariamente iniciativas incompatibles. Por su parte, Santos [Santos2007] tiene una visión negativa sobre su aplicación en pequeñas empresas, en especial en mercados emergentes, como el de Brasil en su caso, a partir del esfuerzo de desplegar las iniciativas SPI y el costo de la infraestructura necesaria para mantenerlo.

Existen autores, como es el caso de Henningson [Henningson2003], que predicen encarar las mejoras de software no a partir de un marco formal estructurado, sino a partir de enfoques de proceso livianos (ágiles), aplicados a áreas específicas. Kitchenham [Kitchenham2007], por su parte, sostiene que un enfoque orientado a la gestión cuantitativa lleva inherente el riesgo de utilizar incorrectamente las métricas en los procesos basados en *control estadístico de procesos (statistical process control, SPC* por su siglas en inglés).

Otro autor, Staples [Staples2007], investiga en forma rigurosa por qué las organizaciones no adoptan SEI-CMMI™ y encuentra soporte estadísticamente significativo en que las razones son, principalmente, costo y aplicabilidad. También se esgrime como razón el tiempo para obtener beneficios, visto esto con un significado similar al concepto de horizonte de inversión t_p utilizado en secciones anteriores. En particular, el tamaño decreciente de la organización y el costo creciente del esfuerzo necesario son los principales detractores de la iniciativa. El uso de otros mecanismos de mejora compitiendo por los mismos recursos y la falta de tiempo/recursos son citados también como conclusiones. Este autor también confirma el hallazgo, previamente elaborado empíricamente por Brodman [Brodman1994] en el contexto de la adopción de SEI SW-CMM, que las organizaciones pequeñas, en particular las menores de 20 personas, simplemente no tienen los recursos para que la iniciativa sea viable. Otros factores tales como el tipo de organización también evidencian afectar la adopción de iniciativas SPI. Dyba [Dyba2001] se concentra en los factores organizacionales que posibilitan el despliegue de iniciativas SPI a partir de conjeturar que en ellos residen las principales razones de adopción.

Por último, Conradi [Conradi2002] da un punto de vista más estructural, en cuanto a que, si bien reconoce la importancia y utilización de SEI-CMMI™, enumera las áreas que deben ser mejoradas significativamente para incrementar su adopción. Sus principales conclusiones son la necesidad de desafiar el valor aportado por las iniciativas SPI, gestionar la tensión disciplina vs.

creatividad y establecer el balance de riesgo de comprador vs. satisfacción de cliente. Para lograrlo, propone seis hipótesis de trabajo donde define las estrategias, los elementos de motivación, el soporte necesario, los cambios culturales que deben gestionarse, la necesidad de transformar la inversión en SPI en un proceso de aprendizaje y, finalmente, la necesidad de apelar a modelos de inversión y amortización más imaginativos.

Todos los puntos de vista relevados previamente coinciden en no negar el valor de SEI-CMMI™. Prefieren concentrarse en aspectos necesarios para incrementar su valor para determinados segmentos, en particular el correspondiente a las pequeñas organizaciones, o adaptarse con más fluidez a necesidades de negocio o, incluso, para poner salvaguardas que permitan el uso más eficiente de los recursos desplegados.

Esto provee el marco para perseverar en este esfuerzo de investigación pues, justamente, el resultado esperado es construir instrumentos que permitan abordar e incluso contribuir a la solución de algunas de estas cuestiones.

2.8.1. Otros beneficios

Partiendo de la noción que la calidad es un atributo intrínseco del producto definido al momento de su creación y no un estado alcanzado mediante la remoción de defectos o acciones de *validación y verificación* [Harter2000], las mejoras de proceso permiten incluso alcanzar objetivos de negocio difíciles de encasillar en una evaluación de inversión convencional. Brodman [Brodman1995] cita principalmente la satisfacción del personal y mejores parámetros de retención de talentos dentro de la organización, la satisfacción del cliente, en particular mejor comprensión de factores cualitativos que permiten desarrollar las capacidades que éste requiere, alcanzar o sostener condiciones requeridas por marcos regulatorios y mejoras en la imagen corporativa y de marca.

Otros autores, como Trienekens [Trienekens2007], rescatan la necesidad de enfatizar en los factores organizacionales en SEI SW-CMM. Por su parte, Seltzer [Seltzer1998] también explora sistemáticamente los mismos factores, los que deben alinearse mediante procesos de cambio para actuar como facilitadores de las iniciativas SPI, entre ellos el compromiso de la gerencia y la participación del personal de desarrollo. Al mismo tiempo, se deben ajustar las iniciativas de mejora, gestionar el cambio y establecer metas organizacionales realistas. Una vez alcanzadas éstas últimas, todas estas iniciativas contribuyen a la operación de la compañía en mejores niveles de madurez, por lo que pueden contarse como un beneficio del proceso de SPI.

Según Koc [Koc2007], las organizaciones son complejas y multidimensionales. Por lo tanto, es necesario capturar historias de éxito para crear las condiciones de motivación que sienten las bases para que la compañía sea exitosa. Concordando en líneas generales con otros autores, Hyde [Hyde2004] enumera los beneficios intangibles de esfuerzos basados en SEI-CMMI™ como uno de

los principales impulsores de la iniciativa. Por su parte, Siakas [Siakas2002] aporta la dimensión cultural necesaria para que los enfoques de mejora de procesos puedan ser viables y efectivos.

Por otro lado, Niazi [Niazi2005] concluye que mientras los modelos de referencia de calidad, SEI-CMMI™ entre ellos, están sujetos a continuos avances y perfeccionamiento, no ocurre lo mismo con las metodologías y herramientas que soportan su adopción. Existe, entonces, una significativa brecha entre la referencia y su uso práctico. Para superar este dilema, propone el concepto recursivo de formular un modelo de madurez en iniciativas SPI que guíe los criterios y objetivos que deben conducir la implementación de un modelo de madurez de software. De esta forma, aborda los factores críticos de éxito de la iniciativa. Entre éstos, y sin ser una sorpresa, se encuentran numerosos aspectos de índole organizacional, cultural y mecanismos de gestión del cambio.

Staples [Staples2008] reporta motivaciones organizacionales como impulsoras y habilitantes de los esfuerzos SPI en organizaciones de Australia. Por su parte, Dyba [Dyba2001, Dyba2005] modela los factores que posibilitan el éxito de iniciativas SPI y encuentra que los mismos son orientación al negocio, compromiso de los líderes de la organización, participación/motivación del personal, preocupación por los programas de métricas, balance equilibrado entre exploración y explotación, desempeño de la organización como un conjunto y mejoramiento de factores ambientales y de clima laboral.

2.9. Gestión del esfuerzo de mejora

La evidencia disponible indica que los tiempos para mejorar cada nivel del SEI-CMMI™ oscilan entre 12 meses y 3 años, con casos aislados llegando a un máximo de 5 años. El SEI [SEI2009] reporta la evolución de los tiempos de implementación por nivel entre los años 1987 y 2006 para organizaciones que implementaron el modelo SEI SW-CMM según la distribución mostrada en la Figura 2-14. El gráfico muestra, usando un gráfico denominado *boxplot*, la media y los percentiles de 25% y 75%. Los valores por encima y por debajo se representan como fuera de rango (*outliers*). Se indica la distribución de tiempos de implementación y número de organizaciones de mejoras de madurez entre los niveles 1 y 2, así como entre 2 y 3, entre los años 1987 hasta 1992. Posteriormente, para los años 1992 a 2003, además de los niveles básicos incluye los tiempos relacionados con adquirir niveles de alta madurez, esto es, niveles 3 a 4 y 4 a 5. Finalmente muestra los datos combinados entre los años 1987 y 2006.

En base a los resultados se recomienda que el tiempo entre evaluaciones sucesivas se encuentre entre 18 y 30 meses. Estos son tiempos muy prolongados en el clima actual de negocios y es necesario proveer mecanismos de monitoreo y control eficientes para asegurar que los

esfuerzos permanecen alineados con los objetivos establecidos en la decisión de inversión que les dio lugar.

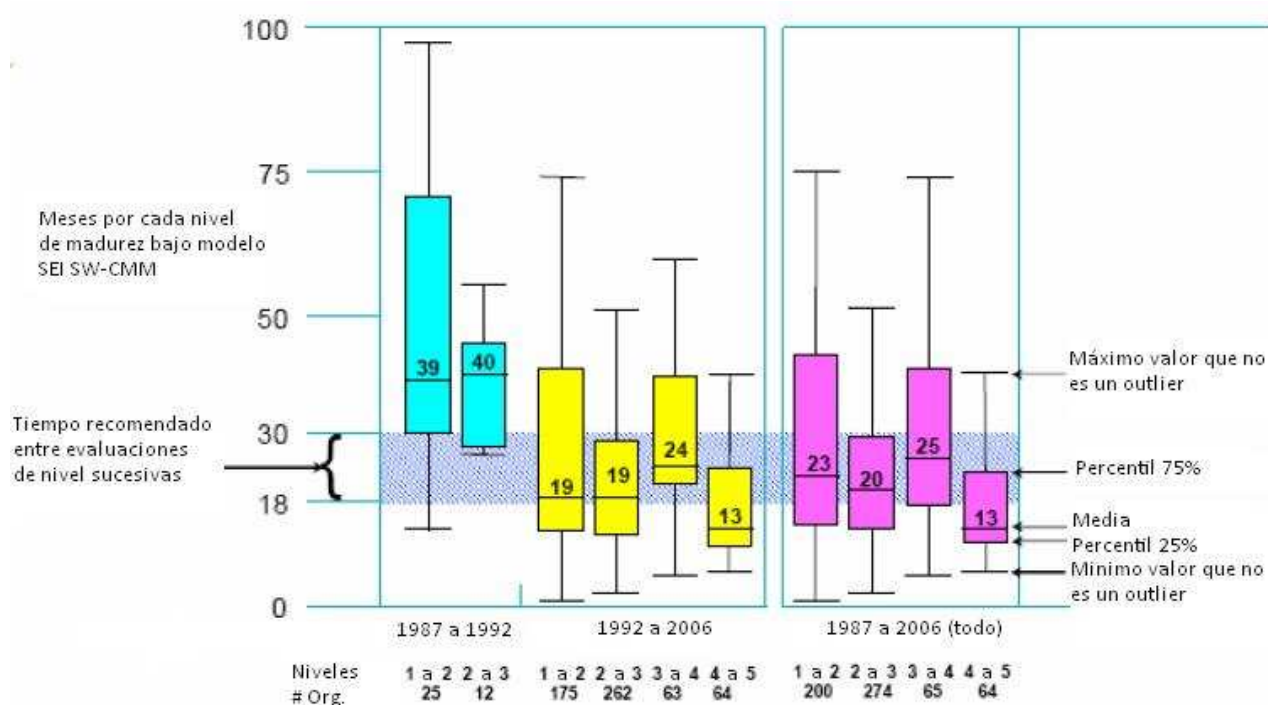


Figura 2-14 Distribución de tiempos de implementación por nivel para SEI SW-CMM [SEI2009]

Se necesitará un marco de referencia que describa los estados organizacionales intermedios que se deben transitar a partir de la iniciativa de incremento de madurez de procesos. Dada la cantidad de cambios que se producen, es necesario evaluar sus costos y prioridades antes de ir liberando inversiones parciales que los implementen. Típicamente, se evaluará el rendimiento del proceso teniendo en cuenta los cambios que sufra la capacidad para entregar los proyectos en plazo y dentro de los presupuestos comprometidos.

Con un espectro muy amplio de posibles áreas a ser abordadas, es necesario desarrollar algún criterio que permita priorizar el foco y el orden en que las distintas acciones de SPI serán abordadas. Tvedt [Tvedt1995] recomienda asegurar que la organización está operando sobre el camino de máxima restricción en todo momento, de forma de alterar significativamente la performance del proceso. Propone al respecto utilizar simulación dinámica como herramienta para detectar cuáles son las mejores oportunidades.

Por su parte, Raffo [Raffo2000a] indica que en oportunidades es útil realizar proyectos pilotos, ya que proporcionan visiones aproximadas en sus resultados a los que se deberá esperar con una implementación en escala del objeto de evaluación. Propone a tal efecto, utilizar *modelos analíticos de sistema* que definan las relaciones matemáticas entre las variables y considerar el proceso como una *caja negra* como primer paso. El siguiente paso es comenzar a comprender el

proceso como un sistema coherente de cajas negras, entendiendo las interrelaciones entre ellas. A este enfoque se lo llama *modelos analíticos estructurales*. Utilizándolo se pueden generar *modelos de proceso* donde se elabora una descripción detallada de los flujos, qué pasos son efectuados y detalles de responsabilidades de la organización. También se propone utilizar modelos donde todos los factores, excepto los considerados independientes, sean estudiados mediante técnicas de análisis de sensibilidad de los resultados a cambios en las diferentes variables. Para que esto sea posible, se deben encontrar relaciones de causa-efecto y desarrollar modelos dinámicos que las representen. Este tema será abordado con mayor profundidad en el capítulo siguiente.

Utilizando un estudio efectuado en cuatro compañías australianas, Cater [Cater2001] confirma que la metodología de abordar el SPI mediante ciclos de profundidad creciente, consistentes en evaluaciones, análisis de brecha y plan de acción sobre los hallazgos, es apropiado también para compañías pequeñas.

No hay demasiadas referencias en la bibliografía sobre cómo debe ser la estrategia de gestión de la iniciativa SPI, es decir cómo se planea, ejecuta, monitorea y controla su evolución en el tiempo. Al respecto, Ruiz de Mendarozqueta [RuizdeMendarozqueta2005] reporta haber utilizado exitosamente el proceso mismo bajo mejora, con la adaptación (“*tailoring*”) apropiada para transitar una hoja de ruta SPI basada en SEI-CMMI™ hasta niveles de alta madurez.

2.10. Variaciones por geografía

La creación de los modelos de referencia de madurez de capacidades por parte del SEI en el contexto de empresas asociadas al complejo industrial-militar alrededor de la defensa de los Estados Unidos de Norteamérica, caracterizado por la alta capacidad económica y las grandes organizaciones, instala la noción que sólo en esa escala es posible un esfuerzo de mejora guiado por estos principios. La adopción posterior por corporaciones, mayormente de alcance global, demostró que el concepto puede ser propagado a otros ámbitos. Sin embargo, aún persiste la noción que sólo es viable en grandes escalas.

Los reportes técnicos del SEI, por ejemplo Gibson [Gibson2006], describen esfuerzos exitosos no sólo en geografías centrales como Estados Unidos y Europa sino también en geografías emergentes como India, China y Rusia. Incluso países con larga tradición de abrazar modelos de calidad industrial, como Japón, ven la adopción de marcos como el SEI-CMMI™ como una necesidad relevante [Matsubara2001].

Las principales corporaciones en India abrazaron SEI-CMMI™ como un factor de competitividad global [Keeni2000]. Entre muchas otras referencias, Arora [Arora2002], describe la adopción del modelo en India, probablemente la geografía emergente más significativa en provisión

de servicios de tecnología en general, y de desarrollo de software en particular. Al presente, algunas de las corporaciones globales dedicadas al desarrollo de software son de origen indio, pero además, un número importante de organizaciones más pequeñas también han alcanzado evaluaciones en diferentes grados de madurez. Los registros del SEI indican que India tiene hoy la densidad más alta de organizaciones evaluadas según el modelo SEI-CMMI™ en los niveles de madurez más altos. Moitra [Moitra2001] proporciona en retrospectiva la noción de cómo las organizaciones en la India utilizaron los marcos de calidad, y en particular los modelos de capacidades del SEI, como un factor para crear confianza en sus clientes a escala global y, al mismo tiempo, como diferenciador competitivo.

La adopción exitosa, empero, no se restringe a la India. Si así fuera se podría especular legítimamente sobre causas especiales que motiven este comportamiento. Por ejemplo, Illyas [Illyas2003] cita la comprensión de las organizaciones sobre la importancia de trabajar con procesos definidos y adopción de modelos de referencia. Al mismo tiempo, identifica el costo de despliegue como uno de los principales inhibidores para que las organizaciones abracen iniciativas SPI y el rol del gobierno en proporcionar medios que alivien este proceso como una forma de consolidar la industria en Pakistán. Este país, pese a su proximidad geográfica con India, no ha logrado instalarse como competidor global en la industria del software, quizás por otras consideraciones de índole geopolíticas.

Wu [Wu2006] reporta la adopción exitosa de SEI-CMMI™ como modelo de referencia en China, no sin detenerse en factores específicos de éxito y detractores. Si bien las organizaciones en China reconocen ventajas en disciplina de gestión y control de proyectos, al mismo tiempo perciben un costo y una complejidad de implementación elevados. Esto motiva un número relativamente bajo de organizaciones efectivamente evaluadas respecto a la población total. Esto ocurre a pesar de la presión de los clientes y de las recompensas del gobierno. Este autor recomienda adoptar métodos de implementación alternativos y también realizar implementaciones parciales. De igual modo, Ju [Ju2001] confirma la prioridad que la industria y el gobierno de China le asigna a la adopción del marco formal de modelos de madurez como un diferenciador clave.

Al momento del estudio, McFall [McFall2003] relata una baja aceptación del modelo en el mercado emergente de Irlanda del Norte, lo que conduce a dificultades competitivas en el mercado internacional. Esto contrasta con la situación en Irlanda donde Cochran [Cochran2001] detalla la decisión estratégica del gobierno de promover y patrocinar la adopción de modelos de calidad como una forma de sostener la industria local, logrando proporciones de adopción relativamente altas en varios marcos de calidad, entre ellos los modelos de madurez patrocinados por el SEI.

Pais	Evaluaciones	Nivel 1 Reportado	Nivel 2 Reportado	Nivel 3 Reportado	Nivel 4 Reportado	Nivel 5 Reportado
Argentina	26	No	Si	Si	Si	Si
Australia	26	Si	Si	Si	Si	Si
Austria	10 o menos					
Bahrain	10 o menos					
Belarus	10 o menos					
Belgium	10 o menos					
Brasil	58	No	Si	Si	Si	Si
Bulgaria	10 o menos					
Canada	38	No	Si	Si	Si	Si
Chile	17	No	Si	Si	No	Si
China	321	Si	Si	Si	Si	Si
Colombia	16	No	Si	Si	Si	Si
Costa Rica	10 o menos					
República Checa	10 o menos					
Dinamarca	10 o menos					
Rep.Dominicana	10 o menos					
Egipto	25	No	Si	Si	Si	Si
Finlandia						
Francia	94	Si	Si	Si	Si	Si
Alemania	41	Si	Si	Si	Si	Si
Hong Kong	10 o menos					
India	256	No	Si	Si	Si	Si
Indonesia	10 o menos					
Irlanda	10 o menos					
Israel	12	No	Si	Si	No	Si
Italia	12	No	Si	Si	No	No
Japon	197	Si	Si	Si	Si	Si
Rep. de Corea	87	Si	Si	Si	Si	Si
Latvia	10 o menos					
Malasia	29	No	Si	Si	No	Si
Mauricio	10 o menos					
México	29	Si	Si	Si	Si	Si
Marruecos	10 o menos					
Países Bajos	10 o menos					
Nueva Zelanda	10 o menos					
Pakistan	10 o menos					
Peru	10 o menos					
Filipinas	17	No	Si	Si	No	Si
Polonia	10 o menos					
Portugal	10 o menos					
Rumania	10 o menos					
Rusia	10 o menos					
Singapur	10 o menos					
Eslovaquia	10 o menos					
Sudáfrica	10 o menos					
España	55	No	Si	Si	Si	Si
Suecia	10 o menos					
Suiza	10 o menos					
Taiwan	71	No	Si	Si	No	Si
Tailandia	10 o menos					
Turquía	10 o menos					
Ucrania	10 o menos					
EAU	10 o menos					
Reino Unido	57	Si	Si	Si	Si	Si
Estados Unidos	859	Si	Si	Si	Si	Si
Uruguay	10 o menos					
Vietnam	10 o menos					

Tabla 2-6 Cantidad de Evaluaciones SEI-CMMI a nivel global [Fuente SEI 2005]

Corea a pesar de su significativa participación en la economía mundial a partir de su complejo industrial, no es frecuentemente citado como un participante activo en el mercado de desarrollo de software. Sin embargo, la industria del software en ese país adopta en forma creciente SEI-CMMI™, no sólo como un factor de competitividad, sino también por los beneficios directos en los resultados de proyecto que obtienen de su implementación [Na2007].

Es claro que no hay un patrón de concentración geográfico en la adopción de SEI-CMMI™. La Tabla 2-6 muestra el número de evaluaciones durante 2005 donde se puede observar la naturaleza global de la adopción del modelo.

En Argentina se han realizado iniciativas que, cuando son reportadas, ilustran resultados y problemas similares a los encontrados en otras geografías [RuizdeMendarozqueta2007].

2.11. *Pequeñas y medianas empresas*

Cuando el software es desarrollado en *pequeñas y medianas empresas* (PyMEs), la justificación de las inversiones requeridas para abordar iniciativas de SPI adquiere una dimensión relativa más importante. La consideración de esta cuestión es relevante, dado que las organizaciones en este segmento parecen tener en general la mayor proporción de los servicios de TI, y a los demandantes mercados de los centros industrializados de los EEUU y Europa en particular. En esos mercados, los compradores requieren, rutinariamente, que las organizaciones proveedoras presenten evidencia objetiva de sus capacidades de ingeniería de software a partir de la adhesión a alguno de los modelos de calidad formales, y en muchos casos, específicamente a niveles concretos de madurez del modelo SEI-CMMI™.

La mayor parte de los resultados capturados por la bibliografía y revisados en secciones anteriores, reflejan la experiencia de organizaciones de gran escala. Esto deja a las más pequeñas preguntándose si una iniciativa de SPI no está sencillamente fuera de su alcance. Se explorarán algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta al momento de evaluar inversiones en SPI en el segmento de organizaciones PyMEs.

2.11.1. SPI en PyMEs

La importancia de las PyMEs es uniformemente reconocida como la principal fuerza en la provisión de servicios de tecnología y, en particular, en el segmento offshore. El tamaño de la organización es un aspecto a considerar en iniciativas de SPI. Richardson [Richardson2007] enfatiza que las iniciativas de SPI deben ser necesariamente diferentes en las organizaciones más pequeñas porque tienen otras características. Según Carrillo [Carrillo1997], los procesos de mejora en general deben tener en cuenta el tamaño de la organización. Guerrero [Guerrero2004] es frecuentemente citado, a partir de las experiencias en aplicar el modelo SEI SW-CMM en

firmas pequeñas y los problemas cualitativos que se plantean al hacerlo. Laporte [Laporte2005] identifica que el 70% de las organizaciones que proveen servicios offshore en economías emergentes tienen 25 personas o menos, con algunos segmentos extremos presentando el 60% de las firmas con menos de 5 personas. En el mismo sentido, Staples [Staples2007] discute los resultados de una encuesta amplia, donde reporta que el 38% de las compañías tienen 20 personas o menos, mientras que el 23% están en el rango de 20 a 200 personas. La investigación llevada a cabo por Pino [Pino2006] sobre artículos publicados en el tema de SPI indica que los esfuerzos están relacionados con empresas de hasta 50 personas en el 74% de los casos, mientras que el eje del esfuerzo se encuentra en SEI-CMMI™ en el 51% de las publicaciones.

La renombrada autora brasilera Von Wagenheim [VonWagenheim2006] argumenta las razones por las que las pequeñas empresas son diferentes, contando como pequeñas empresas aquellas menores a 20 personas. Destaca, esencialmente, la necesidad de escalar a la baja los requerimientos de los modelos formales para que puedan estar a tono con las posibilidades de pequeñas organizaciones.

Por su parte, Kautz [Kautz2000b] documenta la utilización del modelo IDEAL, sugerido por el SEI como marco para la implementación de SEI-CMMI™ y discutido en secciones previas, también en pequeñas y medianas organizaciones. CESSI [CESSI2007], en su encuesta anual 2005/2006, muestra que en Argentina, cuyo mercado offshore es creciente, 75% de las compañías de tecnología tienen 25 personas o menos.

2.11.1.1 Las PyMEs necesitan de las iniciativas SPI

Las organizaciones PyMEs necesitan abordar iniciativas de SPI por una variedad de razones. Conradi [Conradi2002] hace énfasis en la idea de la reducción del “*riesgo de comprador*” como principal motivador. Éste es un incentivo competitivo de naturaleza estratégica para que las pequeñas organizaciones provean evidencia convincente de su capacidad de entregar proyectos grandes y complejos frente a las compañías a las que ofrecen sus servicios.

Otras razones son provistas por García [García2006], quien destaca la necesidad de interactuar con compañías asociadas, satisfacer requerimientos contractuales o seguir mandatos corporativos. Por su parte, Coleman [Coleman2005] encuentra como motivo demostrar la capacidad de satisfacer entregas donde están involucrados requerimientos complejos en ambientes grandes de misión crítica. Otras fuentes [Brodman1995, Diaz2002, Dyba2005, ElEmam 1997, Guerrero2004, Lawlis1995] se concentran mayormente en la búsqueda de eficiencias operativas como la principal razón en PyMEs para abordar inversiones en SPI.

McFall [McFall2003] justifica la importancia de realizar evaluaciones de madurez basadas en SEI-CMMI™ como la dirección estratégica tomada por compañías de la India para competir a

escala global. Las compañías indias tienen más del 55% del número total de organizaciones SEI-CMMI™ Nivel 5 en el mundo siendo la mayoría de ellas compañías que operan en escalas de PyMEs.

2.11.1.2 Las PyMEs son reticentes a desplegar iniciativas SPI

Más allá de las buenas razones y las presiones competitivas para iniciar y sostener iniciativas SPI, el segmento de PyMEs es reticente a adoptarlas. Investigando las razones, Staples [Staples2007] encuentra que estas empresas consideran las iniciativas SPI como directamente no viables debido a razones de costo, aplicabilidad y tiempo de implementación. Un estudio posterior muestra que no prosperan por tener un contexto de negocios más variable que el de compañías más grandes. Debido a eso, las compañías más pequeñas ponen mayor énfasis en ingeniería de producto antes que en aseguramiento de la calidad. De ese modo, desplazan el foco hacia prácticas de ingeniería tales como metodologías ágiles en lugar de prácticas de proceso como SEI-CMMI™. Coleman [Coleman2005] también menciona resistencia en los niveles ejecutivos y su personal clave como una de las principales razones para que las iniciativas SPI no tengan lugar en PyMEs. Por su parte, Conradi [Conradi2002] explica que para ser tenidas en cuenta en el segmento de PyMEs, las iniciativas para realizar SPI deberían poder ser implementadas en 6 a 12 meses. Incluso hay opiniones como la de Santos [Santos2007], que postula que en realidad las pequeñas compañías no se benefician con el SEI-CMMI™ aplicado rigurosamente como marco completo.

2.11.1.3 Las PyMEs reconocen el valor de SPI

A pesar de lo discutido en secciones previas, todo parece indicar que las organizaciones PyMEs entienden el valor de las iniciativas SPI y están abiertas a considerarlas. Esto se manifiesta especialmente en aquellas organizaciones que desarrollan software para mercados offshore.

Por ejemplo, McFall [McFall2003] reporta que el 57% de las compañías en el segmento de menor tamaño tiene alguna clase de metodología estructurada de desarrollo en uso parcial o total. De hecho 90% de las compañías encuestadas reporta su deseo de embarcarse en iniciativas de SPI. En Argentina, CESSI [CESSI2007] reporta en su encuesta 2007 que el 22% de las organizaciones consideran inversiones en calidad como una de sus principales prioridades. En idéntico sentido, Coleman [Coleman2005] reporta que el 70% de las PyMEs encuestadas ha desplegado procesos basados en metodologías ágiles tales como *programación extrema* (Extreme Programming XP) o metodologías incrementales o iterativas como el *proceso unificado de Rational* (*Rational unified process* RUP) y similares. Finalmente Staples [Staples2007] reporta que 82% de las organizaciones relevadas están deseosas de aplicar iniciativas SPI pero no pueden hacerlo puesto que están considerando, en cambio, alternativas de adopción de metodologías ágiles.

2.11.1.4 Tensión SEI CMMI™ vs. metodologías ágiles

Según se analizó en el punto previo, existe el dilema en organizaciones PyMEs entre asignar recursos, siempre escasos, a la mejora de producto o a mejoras en el proceso. Al presente, el principal foco de estas iniciativas lo constituye la adopción de metodologías ágiles.

Si bien Turner & Jain [Turner2002] argumentan que las diferencias entre metodologías ágiles y algunos supuestos de SEI-CMMI™ son obvias e importantes, ambos enfoques tienen mucho en común. En cierta forma, ninguno de los enfoques es el “correcto”, habiendo aspectos de cada metodología que son aptos para diferentes momentos del ciclo de vida del desarrollo. Se sugiere la importancia práctica de combinar ambos marcos. Sutherland et al [Sutherland2007] afirman que el uso conjunto de SEI-CMMI™ y SCRUM aporta sinergias metodológicas, de forma que la combinación es más potente para la gestión de proceso y producto de lo que proveen ambas metodologías aisladas.

Las fuentes en la literatura conducen en general a instalar la noción que las metodologías ágiles pueden articularse en su implementación de forma que satisfagan, en forma natural, los requisitos de las distintas prácticas genéricas y específicas susceptibles de ser evaluadas exitosamente en distintos niveles de madurez según el modelo SEI-CMMI™.

Esta tendencia es confirmada por Coleman [Coleman2008] a partir de un estudio sistemático en Irlanda. En realidad, esto es un camino de dos vías ya que no sólo las metodologías ágiles contribuyen a las iniciativas SPI sino que lo inverso también es cierto. Por su parte, Jakobsen [Jakobsen2008] muestra cómo las metodologías ágiles se pueden robustecer con la utilización de SEI-CMMI™ como marco para su implementación.

Kahkonen [Kahkonen2004] muestra que el cumplimiento de los requisitos de SEI-CMMI™ en Nivel 2 fluye en forma prácticamente natural por la adopción rigurosa de XP. Además, Maller [Maller2004] proporciona un enfoque para realizar un mapa entre los requisitos de alta madurez bajo SEI-CMMI™ en Nivel 5 con las diferentes prácticas de XP. El SEI [Konrad2003] sostiene la premisa que la adopción conjunta de SEI-CMMI™ con metodologías ágiles no sólo es posible sino deseable.

2.12. *Resumen*

Es este capítulo se ha hecho una breve reseña de los fundamentos teóricos y de las referencias sobre los dominios de conocimiento que se considerarán en el desarrollo del resto del trabajo en lo que respecta a mejoras en los procesos de software.

De la revisión de la bibliografía, incluso restringiendo el análisis a una muestra de los trabajos más citados, se puede observar que emergen algunos patrones que se discutirán a continuación como resumen.

La utilización de SEI-CMMI™ es el modelo de referencia de mayor utilización a nivel global y mediante su aplicación se obtienen consistentemente mejoras en los ingresos, mayor eficiencia operativa y reducción de los riesgos como beneficios tangibles, al mismo tiempo que un número de beneficios intangibles tales como capacidades organizacionales que primero deben ser desplegadas y luego institucionalizadas. Posteriormente, esto se aleja de una visión estrictamente técnica para implementar SPI al mostrar que las organizaciones también alcanzan un grado de madurez gerencial, desarrollo de criterios de decisión, metodologías de gestión y de satisfacción tanto de clientes como del personal, que deben genuinamente tomarse como valor competitivo directamente derivado de la inversión en SPI.

Los beneficios tangibles se obtienen a partir de mejoras en el ciclo de desarrollo, reducción de defectos y costos, capacidad de cumplir plazos, entre otros. Sin embargo, este trabajo tomará la visión integradora que todos estos aspectos pueden, en definitiva, considerarse como la posibilidad de realizar más producción con igual esfuerzo o igual producción con menos esfuerzo, lo que en definitiva es mejorar la productividad.

Si bien los beneficios operativos derivados de las inversiones en SPI mejoran múltiples aspectos de la capacidad de producción de software, estos serán resumidos en términos de mejoras en la productividad en esta tesis. Esta definición permitirá abstraer cuál es el factor de los proyectos de desarrollo que, una vez completada la inversión en SPI, resulta beneficiado y de ese modo concentrarse, en cambio, en visualizar los beneficios organizacionales.

Prácticamente ninguna fuente de la literatura se detiene en considerar el valor que se crea mediante las inversiones en SPI. En general, se concentran en los beneficios con un criterio económico. Al hacerlo, no se tienen en cuenta los componentes de tiempo y riesgo que las organizaciones consideran al realizar inversiones. Al mismo tiempo, niegan la posibilidad de considerar mejoras de ingresos u organizacionales como beneficios de los esfuerzos en SPI, que en definitiva, derivan en que la organización opere con menos riesgos.

Se puede argumentar que las organizaciones enfrentan desafíos para su supervivencia relacionados con la administración eficiente de sus escasos recursos, la gestión adecuada de su capacidad de conocimiento, la alineación estratégica con los clientes adecuados y el desarrollo de las capacidades críticas para su desempeño. Es probable que todos estos factores sean, al mismo tiempo, críticos y difíciles de capturar en un análisis económico de retorno de inversión. Sin embargo, la consideración de modelos de inversión, donde el riesgo es capturado a partir del *costo de capital o costo de oportunidad*, toma en cuenta estos factores. Una organización con un adecuado manejo estratégico es menos riesgosa y el costo de oportunidad es un instrumento que, al menos parcialmente, captura este factor.

Se puede concluir que el SPI aplicado a PyMEs es frecuentemente referido como relevante, pero no ha sido estudiado sistemáticamente. Entonces, es significativo un esfuerzo de investigación que provea elementos sobre esta cuestión. En particular en la Argentina, donde la mayoría de las organizaciones que están en condiciones de considerar SPI como parte de su visión estratégica corresponden al segmento PyME. El patrón global es que éstas constituyen la enorme mayoría de las organizaciones participantes en el complejo mercado de provisión de servicios de tecnología en general y desarrollo de software en particular.

Las empresas PyMEs experimentan una tensión constante entre mejorar sus productos y sus procesos o mantener capacidades críticas de agilidad e innovación. A menudo, se considera que el SEI-CMMI™ no contribuye en estos aspectos. El alineamiento con metodologías claramente orientadas al producto más que al proceso, como en general son las metodologías ágiles, puede ser un buen compromiso en esta dirección. Sin embargo, es importante desarrollar aportes que generen marcos de trabajo que sean compatibles con SEI-CMMI™ como una forma de alentar su adopción.

La bibliografía relevada es sólo una pequeña fracción de los reportes sobre implementación de SEI-CMMI™ en distintos ámbitos geográficos. Sin embargo, no parecen existir diferencias geográficas significativas en los resultados obtenidos por su aplicación, ni en los factores que promueven o desalientan las inversiones, ni en qué aspectos deben ser atendidos para potenciar las oportunidades de éxito e incrementar la adopción. La aplicabilidad en términos geográficos es importante puesto que se ha tomado por mucho tiempo la premisa que los resultados obtenidos en otros contextos son directamente extrapolables a su aplicación en nuestro ámbito. En cierta forma esto es bueno, pues ha permitido la adopción de herramientas, aprendizajes y mejores prácticas directamente derivadas de otros ámbitos.

La práctica profesional nos enfrenta a menudo con cierta reticencia para aplicar en nuestro país las prácticas SPI referidas como exitosas en otras geografías. Esto se debe a diferencias de escala y estructuras comerciales con los casos publicados que parecieran no corresponder con la realidad en Argentina. Este trabajo tomará como válidos los conceptos reflejados para otras geografías para crear el marco conceptual, pero realizará las validaciones necesarias para entender qué clase de modificaciones deben realizarse para su implementación local.

Finalmente, esta tesis enfrenta un dilema particular al relevar información sobre iniciativas SPI que utilizan como marco los modelos de madurez de capacidades propuestos por el SEI. Luego de más de una década desde su formulación y hasta su discontinuación, el modelo SEI SW-CMM creó una base de organizaciones que lo han adoptado que sólo muy lentamente es migrada a su modelo sucesor, el SEI-CMMI™. Un número significativo de las referencias bibliográficas contribuyen a profundizar el problema, puesto que aún hoy siguen reportando enfoques, resultados

y conclusiones basados en SEI SW-CMM. Incluso, muchos autores trabajan con referencias indiferenciadas a CMM/CMMI o citan en trabajos relacionados con SEI-CMMI™ a autores que reflejan acciones tomadas con SEI SW-CMM. Si el proceso de investigación fuera rígido, se tomarían solamente referencias y resultados que son claramente aplicables al modelo SEI-CMMI™, lo que sin duda restringiría enormemente la profundidad del análisis. Si bien SEI-CMMI™ aporta diferencias de forma y fondo sobre sus antecesores, sus bases conceptuales son similares.

La noción básica que el resultado del desarrollo de software depende del proceso que se utilice, que éste puede ser mejorado mediante la implementación de áreas prácticas concretas en forma escalonada y la noción misma de madurez de proceso están profundamente arraigadas en el núcleo de ambos modelos de referencia. Es probable que los detalles de implementación, el tiempo necesario, el esfuerzo o incluso las competencias involucradas varíen de una a otra. Este trabajo tomará la postura de asumir que cualquier conclusión obtenida con SEI SW-CMM es probablemente aplicable, a igualdad del resto de los factores, por SEI-CMMI™. Se tendrá especial cuidado en extender esta conclusión sólo a aquellos tópicos de índole conceptual mientras que los aspectos de implementación se concentrarán en utilizar información específica de SEI-CMMI™.

"Recuerden que todos los modelos están equivocados, la cuestión práctica es que tan erróneos tienen que ser para no ser útiles."

Box and Draper, Empirical Model-Building

Capítulo 3 Modelos en ingeniería de software

Es beneficioso evaluar los procesos de SPI mediante modelos ya que permiten experimentar con procesos de desarrollo existentes o propuestos. De esta forma, se pueden obtener perfiles de posibles escenarios y decidir en tiempo de planeamiento qué combinación de acciones deriva en el mejor resultado para la organización. En esfuerzos organizacionales de largo plazo, como los típicamente encontrados en SPI, la experimentación con el sistema real puede ser dañina para los objetivos de la organización, demasiado costosa o simplemente imposible.

Al mismo tiempo, si el modelo no provee una representación válida del sistema en estudio, cualquier conclusión derivada de su utilización seguramente será errónea y conducirá a decisiones equivocadas. Para evitar esta situación, los modelos deben ser validados mediante un proceso riguroso para asegurar su correspondencia con el sistema que intentan representar.

Dado que uno de los objetivos del trabajo es crear un modelo dinámico, se explorará el marco teórico y metodológico para construirlos. Una vez completada la construcción del modelo, los resultados obtenidos pueden ser irrelevantes si no se tiene la suficiente confianza de que el modelo opera correctamente y sirve para su propósito. Se revisan entonces los mecanismos de verificación y validación de modelos.

Finalmente, se exploran algunos de los modelos discutidos en la literatura aplicados al dominio de ingeniería de software y, en particular, aquellos que operan en objetos de estudio cercanos al alcance de este trabajo.

3.1. Introducción

Un modelo es una abstracción de un sistema u objeto real. Modelar un sistema significa abstraer sus componentes, relaciones y comportamiento. La actividad de modelado implica realizar las actividades de identificación, análisis, implementación y validación.

Un proceso de software consiste en una serie de componentes y sus relaciones con un objetivo definido. Los componentes principales del proceso son actividades, productos y roles realizados por los equipos de proyectos.

El objetivo de los modelos en el dominio de la ingeniería de software es facilitar la comprensión y comunicación de los problemas a resolver, soportar los esfuerzos de mejora de

procesos y brindar auxilio a la gestión del proceso. Dependiendo del alcance del modelado, el proceso puede ser visto desde perspectivas de tipo funcional, informacional, organizacional o actitudinal.

La mayoría de los modelos de proceso utilizados en ingeniería de software son del tipo analítico, esto es, una construcción realizada a partir de una expresión matemática que provee resultados determinísticos basados en el comportamiento promedio de los procesos ante los parámetros de entrada especificados. Distintos ejemplos de estos modelos, resultantes de un trabajo combinado entre fundamentos teóricos y relevamientos empíricos, pueden ser los modelos estáticos para la estimación de tamaños, tales como la medición de *puntos de función* [Albrecht1979] o el modelo COCOMO [Boehm1981], que permiten estimar el esfuerzo y calendario para un determinado producto de software a desarrollar dadas sus características funcionales.

Ciertos modelos también incluyen explícitamente el tiempo como una de las variables, y permiten obtener los sucesivos estados de equilibrio de los factores bajo modelado. Ejemplos al respecto son el modelo de *Putnam-Norden-Rayleigh* o PNR [Putnam1992], el modelo de Parr [Parr1980], que proveen el perfil del personal necesario para un proyecto en función de su tamaño y complejidad, o el modelo de crecimiento de la confiabilidad [Fenton1997], que permite estimar el esfuerzo de test y los perfiles de defectos esperables en un producto dado bajo desarrollo.

Además de proveer respuestas promedio esperables, estos modelos tienen como alcance sólo un conjunto reducido de los atributos del proceso real, y no consideran la interacción dinámica entre éstos. Por ejemplo, una vez que se pronostican determinados niveles de defectos en un desarrollo poder entender cuánto personal adicional será necesario asignar, como consecuencia, para sostener los calendarios previstos. Tampoco representan un mecanismo flexible para analizar la respuesta del sistema ante cambios o perturbaciones durante el período simulado.

Para realizar predicciones más detalladas, realistas o incluso posibles del comportamiento del sistema se requieren modelos más sofisticados, y éstos no pueden ser expresados por relaciones matemáticas simples. Serán modelos basados en técnicas de simulación.

Para implementar modelos de simulación se pueden utilizar modelos discretos [Hansen1996] o continuos [Abdel-Hamid1990, Rus1998]. Incluso, en ocasiones, se utiliza una combinación de ambos tipos de modelos [Raffo2000b] y de distintas técnicas de modelado: en el nivel más alto de abstracción del modelo se emplea un método de simulación discreta, mientras que, en los niveles de menor abstracción, se emplean híbridos entre modelos analíticos y continuos [Donzelli2001].

Para el modelado sistémico de procesos de software se han utilizado diferentes técnicas, como por ejemplo los modelos de Entidad-Relación [Chen1976], que han sido aplicados con variado éxito a capturar modelos del proceso de software. La notación ProNet [Christie1993] fue

creada en el seno del SEI como una notación universal para definir procesos de software a partir de la definición de tipos de entidades, tales como actividad, agente, artefacto, condición, restricción o almacenamiento. También un conjunto de relaciones predefinidas entre estas entidades, tales como “instancia_de” o “parte_de”, al mismo tiempo que el modelador puede también definir sus propias relaciones o combinar las existentes en relaciones compuestas mediante el uso de operadores de convergencia, AND y OR.

La metodología STRIM [Ould1993] tiene dos formulaciones separadas para definir las relaciones entre actividades y los diagramas de actividades de roles. Por su parte, IDEF0 (Integration Definition language 0) [IDEF0] es un modelo de formulación jerárquica, donde se utilizan diagramas anidados para ir mostrando niveles crecientes de detalle en funciones e interfaces.

3.2. Modelos dinámicos

El *modelado dinámico* se define como la aplicación de mecanismos de realimentación para modelar, analizar y entender la respuesta de los sistemas a diferentes configuraciones de entradas y estados [Abdel-Hamid1990].

Los *modelos dinámicos* son usualmente la representación computacional de una visión holística de los sistemas, llamada *pensamiento sistémico*, que explica su comportamiento mediante la interacción compleja entre distintos factores. El pensamiento sistémico pone énfasis en múltiples acciones de realimentación entre los resultados y las entradas que los produjeron [Senge1990]. Al hacerlo, se concentra en las relaciones más que en las variables o factores.

La disciplina de modelado dinámico de sistemas (System dynamics modeling SDM) fue desarrollada en la década del 50 en el M.I.T. El primer esfuerzo académico para su aplicar al problema de gestión de investigación y desarrollo fue realizado por Roberts [Roberts1964]. Este antecedente es adecuado pues el dominio explorado tiene muchas similitudes con los proyectos de desarrollo de software. El trabajo de Roberts fue posteriormente extendido para contextos con múltiples proyectos simultáneos [Nay1965, Kelly1970], asignación de recursos [Edelman1975], dinámica de grupos [Richardson1982] y retrabajo [Cooper1980, Roberts1981, Richardson1981].

Posteriormente, Rubin [Rubin1995] utilizó esta técnica para estudiar problemas asociados a los procesos de desarrollo de software a partir de modelar iniciativas SPI, incorporando no sólo el proceso mismo de creación de software sino también las características actitudinales de las organizaciones. En este trabajo se modeló exitosamente la evolución de una organización a medida que incrementa sus niveles de madurez de acuerdo al modelo SEI SW-CMM.

Los modelos pueden ser desarrollados en múltiples aspectos del dominio de ingeniería de

software; Madachy refiere implementaciones exitosas de modelos en un número de áreas tales como gestión estratégica, planeamiento, gestión de operaciones, optimización de iniciativas SPI, evaluación de procesos internos y entrenamiento entre otros [Madachy1999].

La representación de modelos mediante los sistemas dinámicos se basa en establecer las relaciones de causa-efecto que son observables en el sistema real. Según se muestra en la Figura 3-1, un proyecto que experimenta retrasos (*causa*) genera la necesidad de agregar personal (*efecto*), pero el nuevo personal requiere tiempo para ser contratado y entrenado, lo que eventualmente genera más retraso en el proyecto (*realimentación*). Este efecto, conocido en la literatura como “Ley de Brooks”, pronostica que “...agregar personal a un proyecto retrasado sólo lo retrasa más” [Brooks1975]. Las relaciones de causa-efecto-realimentación están permanentemente interactuando entre sí mientras el modelo es ejecutado, por lo que la dinámica de sus relaciones puede ser capturada y considerada. De allí el nombre de esta técnica de modelado.

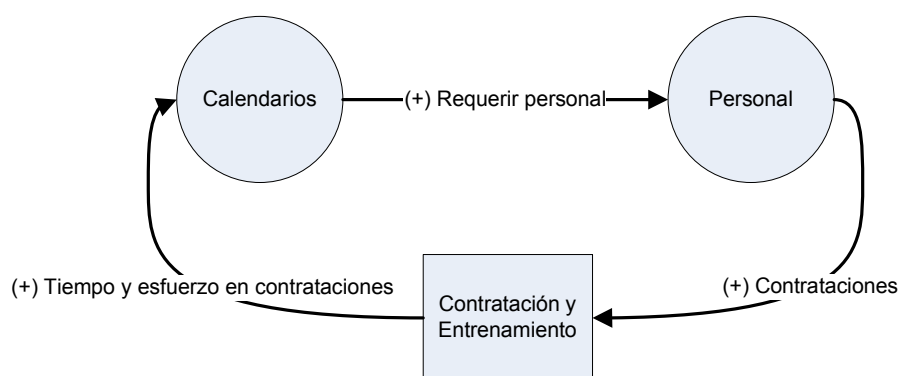


Figura 3-1 Relaciones causales entre corrimientos de calendario y staff [Brooks1975]

El beneficio más importante de los modelos dinámicos se obtiene cuando operan múltiples relaciones de causa-efecto, formando relaciones circulares conocidas como *lazos de realimentación* (feedback-loop). Con su uso, eventualmente, cada factor representado en el sistema será afectado por su propio comportamiento [Gong2004, Franklin2005].

Puesto que los modelos dinámicos incorporan las formas en que la gente, los productos y los procesos interactúan, deben ser calibrados para el ambiente en que serán utilizados. Una vez que un modelo es creado para un ambiente o proceso de desarrollo específico, puede ser utilizado para identificar estrategias de gestión tales como la forma óptima de mejorar un proceso, cómo reducir el ciclo de desarrollo o cómo mejorar el valor de una inversión.

La utilización de modelos alienta a las organizaciones a definir sus procesos y utilizar métricas para evaluar su comportamiento, incluso en los estados iniciales donde todavía no están aún depurados y no ofrecen precisión pueden ser útiles en la toma de decisiones [Stark1994].

3.3. Formulación de modelos dinámicos

Los aportes de Richardson [Richardson1981] ayudan a identificar qué condiciones debe cumplir un modelo dinámico. Éstas son: definir un problema dinámicamente en función de su comportamiento en el tiempo, exponer una visión interna sobre el comportamiento de los factores que lo componen, representar los conceptos de los sistemas reales como magnitudes interconectadas para recrear relaciones de causalidad, identificar los factores independientes del sistema y sus interfaces de entrada y salida, formular el modelo de manera tal que reproduzca por si mismo el comportamiento dinámico exhibido por el sistema real, poder derivar comprensiones y políticas aplicables desde el modelo resultante y, finalmente, utilizar el modelo como fuerza de cambio del sistema.

El desarrollo de software es un proceso complejo y cambiante donde múltiples factores interactúan entre sí. Es por eso que los modelos dinámicos son particularmente aplicables para establecer las estrategias de mejora, ya que proveen una visión global del sistema, tienen en cuenta los efectos de realimentación, pueden tener en cuenta restricciones múltiples y permiten la experimentación a bajo costo.

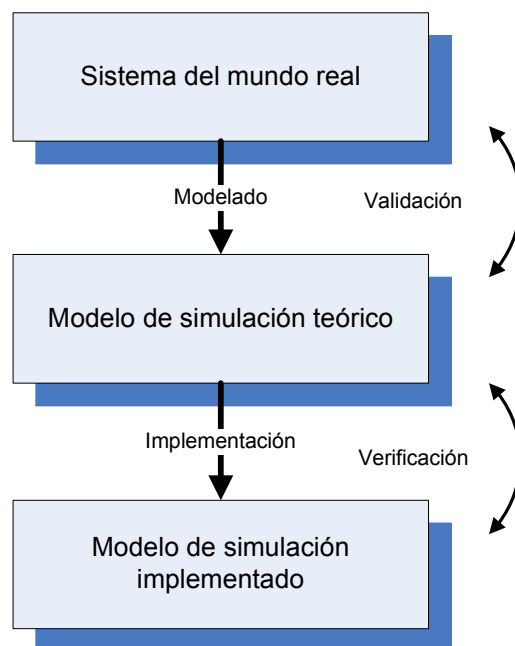


Figura 3-2 Revisión del ciclo de desarrollo de un modelo

Para poder desarrollar un modelo dinámico es necesario involucrar la participación de tres entidades. Éstas son un sistema real, un modelo teórico del sistema real y una implementación del modelo teórico en una herramienta que permita su ejecución. La derivación del modelo teórico desde el sistema del mundo real se denomina *modelado*, y el traslado del modelo teórico a una

forma ejecutable recibe el nombre de *programación* o *implementación* Figura 3-2. Durante la construcción del modelo es necesario realizar la *validación* (*¿estamos construyendo el modelo correcto?*) y la *verificación* (*¿estamos construyendo el modelo correctamente?*).

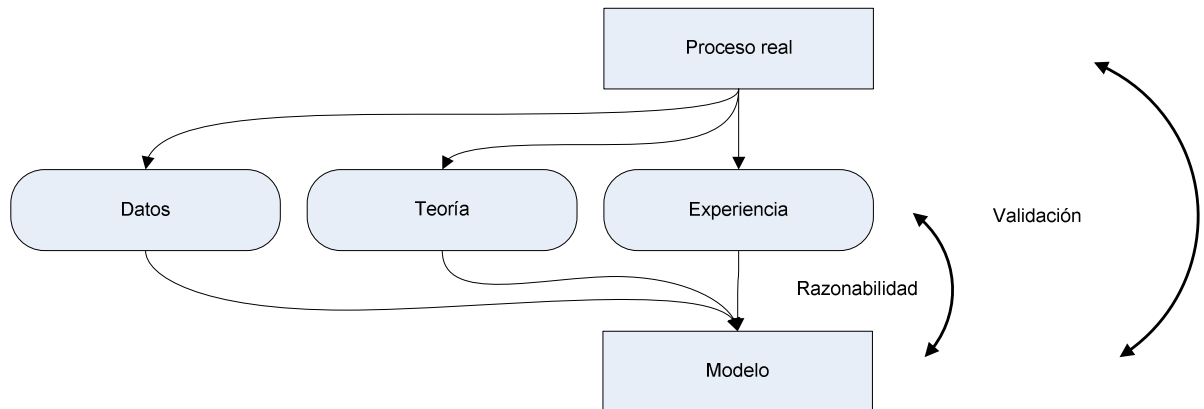


Figura 3-3 Generación de modelo

La formulación de un modelo es representada esquemáticamente en la Figura 3-3. La observación del sistema real provee los datos, sus teorías e hipótesis y la experiencia sobre su comportamiento. Estos recursos son utilizados en la posterior construcción del modelo. El comportamiento resultante puede estudiarse en dos niveles. Por un lado, comparando los resultados con los instrumentos que se usaron para crearlo (datos, teoría y experiencia) en un estudio de razonabilidad. Por otro lado, la *validación* compara el resultado del modelo con el del sistema que representa.

Para llevar a cabo el modelado será necesario recolectar datos, estructurar la teoría y proceder luego a la creación del modelo. Estas actividades se detallan en las secciones siguientes.

3.4. Recolección de datos

El aspecto más difícil del proceso de formulación de un modelo es obtener datos en la suficiente cantidad, calidad y variedad para poder realizar un análisis razonable. En ocasiones, es imposible obtener datos, como en el caso de sistemas propuestos y que todavía no existen. También es posible que no existan los recursos de tiempo o personal, en cuyo caso quedará limitada la magnitud del esfuerzo para recolectar datos.

En ocasiones, se debe recurrir a datos existentes. Sin embargo, esto no se encuentra exento de problemas. Entre los principales se encuentran la existencia de auto correlación entre los puntos de datos, representación en intervalos inapropiados, precisión o errores no corregidos en la colección, más un proceso sin la posibilidad de discriminar contextos diferentes al que se plantea

modelar. No es necesario que todos estos problemas ocurran al mismo tiempo, pero la utilización de datos externos debe ser considerada cuidadosamente en términos de las amenazas a la validez que esto introduce.

3.4.1. Distribución de probabilidades de las variables aleatorias

Cuando una determinada variable se comporta como aleatoria, es importante poder expresar estocásticamente su comportamiento. Para ello es necesario modelar la distribución a la que responde y los parámetros que la definen. Para asignar una distribución determinada se sugiere seguir los pasos recomendados por Banks et al [Banks1998]. El primer paso es evaluar la muestra para determinar los límites en los valores que puede producir, pues es importante que las distribuciones de los datos utilizadas en el modelo reflejen los valores encontrados en el sistema real. Por ejemplo, una distribución puede asignar una probabilidad no nula a un valor resultante ligeramente menor a un límite inferior, pero a partir del conocimiento del sistema saber que ese valor no es posible. Esta consideración será útil, como veremos, durante la construcción del modelo en el Capítulo 7, cuando será necesario calibrarlo según la evidencia empírica.

A continuación, es necesario probar las diferentes distribuciones para detectar cuál se adapta mejor y utilizar un criterio objetivo para determinar las bondades relativas entre las diferentes distribuciones. En caso que algún dato sea inconsistente con los rangos definidos como probables para un determinado factor, deberá ser descartado.

En caso que no existan distribuciones adecuadas a los datos, será necesario utilizar distribuciones empíricas para representar los datos directamente. Cuando no hay datos disponibles o éstos son incompletos, no existe una manera recomendada de manejar el caso. Deberán aplicarse diferentes heurísticas para solucionar la dificultad.

Una forma de abordar la ausencia de datos en la definición de las distribuciones es recurrir a modelos similares en otros dominios o solicitar a un experto en el campo que formule las distribuciones esperables para un determinado factor. Esto a menudo produce, sin embargo, problemas de confiabilidad y posibilidad de repetir los resultados.

Cuando sólo se dispone de los mínimos y máximos de un conjunto razonablemente próximo al 100% de los valores de una determinada variable, es posible utilizar crudamente una *distribución uniforme*. Esta distribución representa un enfoque conservador sobre los valores potenciales que pueden esperarse.

Si se dispone además de un valor central, la media por ejemplo, es preferible recurrir a la *distribución triangular*, que provee una forma de distribución mucho más razonable. La distribución resultante tendrá errores en los extremos de la distribución.

Si se dispone, además, de dos percentiles o dos valores centrales, por ejemplo la moda y la

media, es preferible utilizar la *distribución beta*. Sin embargo, y desafortunadamente, no siempre es posible usarla, pero cuando lo es conduce a mejores resultados en los bordes que la distribución triangular.

En todos los casos, debe tenerse en cuenta que con distribuciones derivadas de dos, tres o incluso cuatro valores no hay garantías que el modelado resultante provea resultados razonables para todo el rango de valores de entrada disponibles. Es necesario realizar un estudio en cuanto a las amenazas a la validez que cada decisión relativa introduce a la adopción de las diferentes distribuciones.

3.5. Estructurar la teoría

En modelos de tipo continuo, en vez de intentar modelizar los eventos individuales, se trata de comprender los distintos factores y componentes representándolos como cantidades agregadas que fluyen por el sistema. En estas condiciones, es usual describirlos como sistemas de ecuaciones diferenciales que constituyan el substrato teórico de las relaciones entre las distintas variables.

La modelización de tipo discreta no requiere un modelado matemático tan intenso sino que se expresa en términos de las variaciones de reservorios (“stocks”) como resultado de flujos que son eventualmente regulados en función de relaciones con otros reservorios o valores estacionarios.

Para construir un modelo dinámico representativo de una mejora en un proceso se apela a una metodología iterativa (Figura 3-4) [Madachy1999].

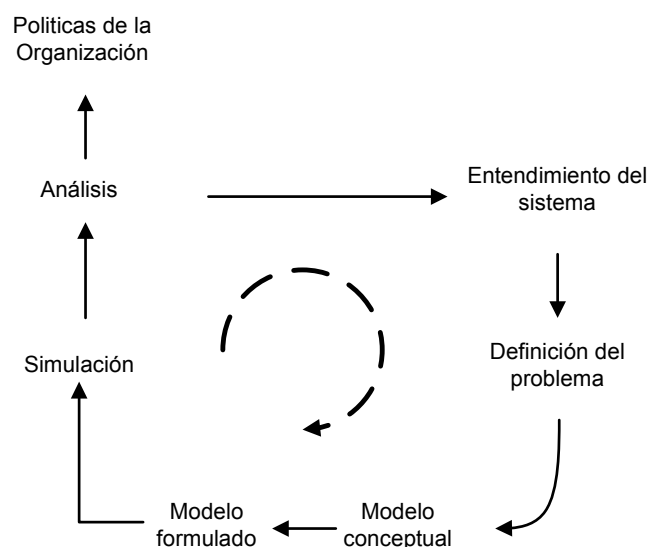


Figura 3-4 Ciclo hermenéutico para la creación de modelos dinámicos [Madachy1999]

Se aplica un ciclo hermenéutico donde las políticas de la organización que definen los procesos de creación de software son susceptibles, en cualquier estado inicial arbitrario, de ser

analizadas para obtener una comprensión del sistema. Esta definición es utilizada para identificar los objetivos que deben ser cumplidos y definir los problemas a resolver.

El problema es modelado conceptualmente para luego ser implementado (formulado) con una herramienta apropiada. Esta construcción es utilizada en procesos de simulación, que derivan en un mejor conocimiento de las características del sistema y, como consecuencia, permite la modificación de las políticas de la organización.

3.6. Desarrollo del modelo

Cada etapa de la actividad de creación del modelo tendrá objetivos prioritarios, tal como puede verse en la Figura 3-5. Las principales actividades son *definición del problema*, *creación del modelo conceptual*, *implementación del modelo*, *simulación* y *evaluación*. Estas actividades serán descriptas con mayor detalle en las secciones siguientes.

3.6.1. Definición del problema

El problema a ser estudiado tiene que ser definido en base a los objetivos que deben ser satisfechos, es decir los *alcances del problema*, las preguntas específicas que deben ser contestadas, el alcance del modelo y el nivel de detalle requerido, qué consideraciones no funcionales (performance, tiempo de respuesta) deben tenerse en cuenta y cuáles son las configuraciones de infraestructura que deben ser utilizadas.

El *contexto* (ambiente), los *síntomas* (referencias hechas por la organización) y *signos* (referencias capturadas por el modelador) deben ser formalizados en la descripción del problema.

Se deben relevar datos de la estructura de los sistemas a ser representados que permitan especificar los parámetros de simulación y las distribuciones de probabilidad. Al mismo tiempo es necesario identificar las hipótesis, algoritmos y parámetros que forman parte del modelo conceptual.

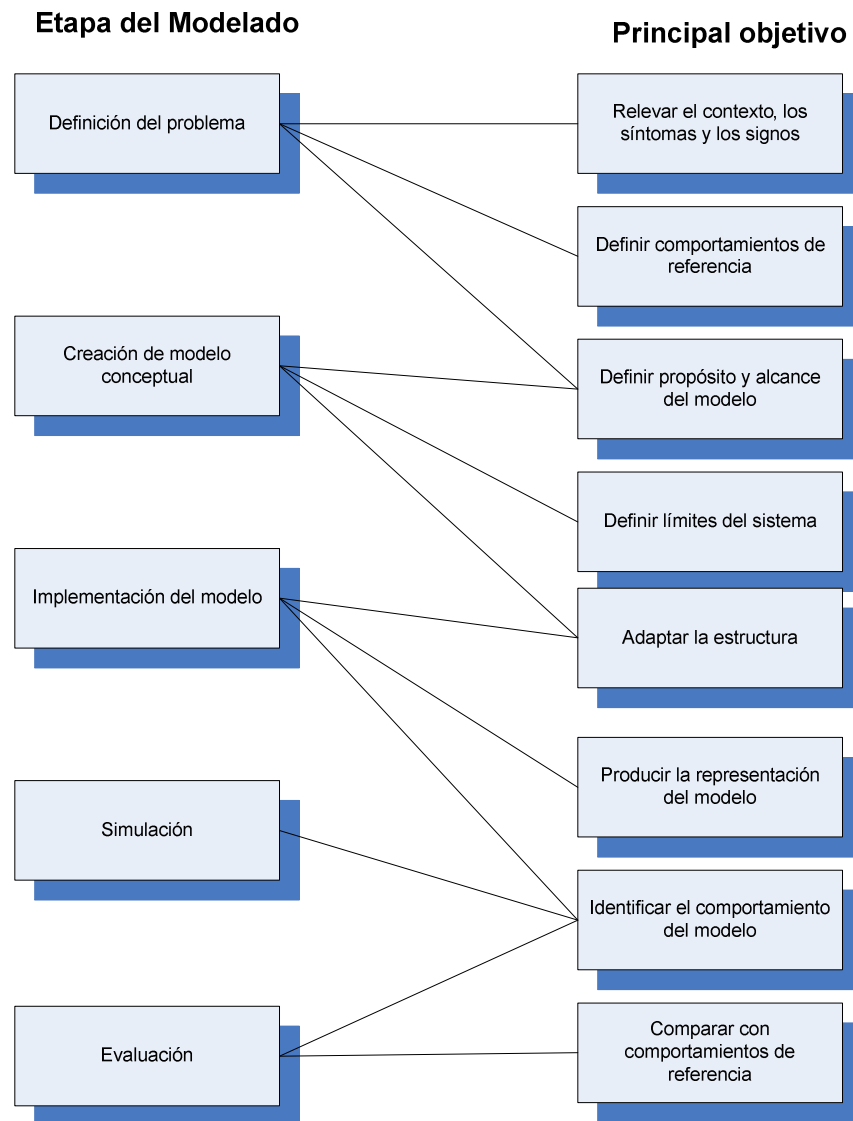


Figura 3-5 Etapas del modelado y principales objetivos [Madachy1999]

3.6.2. Creación del modelo conceptual

El nivel de detalle del modelo dependerá de cómo se refinan los objetivos y alcances del problema, cuáles son las medidas de performance de interés, la disponibilidad de datos y comportamientos de referencia, qué grado de preocupación hay sobre la credibilidad de los resultados, qué opinan los expertos sobre el problema a modelar y cuáles son los recursos de tiempo y dinero disponibles.

El modelo conceptual debe ser revisado por la audiencia interesada en la utilización del modelo de manera de identificar problemas de estructura si los hubiera, y solucionarlos en ese caso.

3.6.3. Implementación del modelo

Implementar el modelo usualmente consiste en trasladar el modelo conceptual a una o más

herramientas que permitan su ejecución y depuración (verificación), en base a pruebas parciales o unitarias. Cada vez que sea posible se deben comparar los resultados parciales obtenidos con los del sistema (criterio de aceptación) y revisar la consistencia de los resultados con el sistema que se intenta modelar. Finalmente se debe verificar las respuestas estructurales del modelo, tales como operación en los límites de los rangos de las diferentes variables y parámetros, sensibilidad a los distintos parámetros y respuesta a datos incorrectos.

3.6.4. Simulación

Para cada escenario de interés se deben realizar ejecuciones de simulación independientes, que requerirán diferentes configuraciones de parámetros. Es conveniente realizar análisis de sensibilidad a los parámetros o combinaciones de parámetros más relevantes. Determinados casos de estudio pueden involucrar la interacción conjunta de variaciones en múltiples parámetros.

3.6.5. Evaluación

Los resultados deben ser documentados y evaluados. Cualquier comportamiento anómalo debe ser realimentado para realizar las correcciones que fueran necesarias.

Cada vez que sea posible se deben ejecutar tests cuantitativos para evaluar individualmente el correcto funcionamiento de los componentes del modelo. Por ejemplo:

- Evaluar la distribución utilizando gráficos tales como histogramas, box/whisker o gráficos de correlación, gráficos de barras o torta.
- Examinar los datos utilizados con técnicas estadísticas.
- Analizar la sensibilidad a los factores.

La verificación y validación de los componentes durante la construcción ayuda a ganar confianza en el funcionamiento como pre-requisito a los pasos formales de verificación y validación del modelo en su conjunto.

3.7. Métodos para verificación y validación de modelos

La principal preocupación de los constructores y usuarios de un modelo es entender en qué medida sus resultados son correctos. Esta preocupación debe ser abordada mediante pasos concretos de verificación y validación.

La *validación* de un modelo es usualmente definida como la forma de asegurar que sus resultados tienen un grado de precisión consistente con su aplicación [Schlesinger1979]. La *verificación* de un modelo consiste en el aseguramiento que la implementación computacional del modelo es correcta.

La validación y verificación son parte del proceso de desarrollo, aunque es usualmente

impracticable estar absolutamente seguro de la validez del modelo debido al tiempo y recursos que eso insumiría para lograrse. En cambio, las evaluaciones son realizadas hasta que se obtiene suficiente confianza para su aplicación en el alcance definido [Sargent1982, Shannon1975]. Sargent [Sargent1998] profundiza en la relación entre confianza en el modelo y el costo de la validación tal como es ilustrada esquemáticamente en la Figura 3-6.

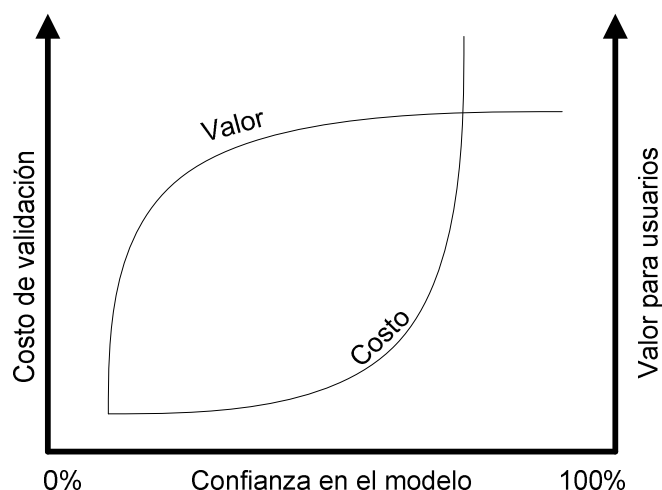


Figura 3-6 Relación entre confianza y costo de validación [Sargent1998]

El costo de validación de un modelo es usualmente muy significativo y crece velozmente a medida que le son requeridas mayores exigencias de confiabilidad. En cada caso deberá definirse cuál es el grado de confiabilidad o, dicho de otra forma, la precisión de los resultados, para que exista un equilibrio razonable entre los alcances propuestos y el costo de alcanzarlos. Si bien el gráfico es solo una representación conceptual de las magnitudes involucradas, puede verse que la máxima relación entre costo y valor se obtiene para valores de confianza relativamente baja. Esto implica que a menudo es más valioso para el usuario un modelo que armonice la confianza que se tiene en él con el costo que insume su desarrollo.

3.7.1. Proceso de validación

Hay tres aproximaciones básicas para decidir si un modelo es válido o no, y las tres requieren que se realicen actividades de verificación y validación como parte del proceso de desarrollo. Éstas son *aceptación*, *evaluación independiente* y *modelo de puntaje*.

El enfoque más común es la *aceptación*, que consiste en que el team modelador tome la decisión sobre si el modelo es válido o no. Esta es una decisión subjetiva basada en la evidencia colectada durante las pruebas y evaluaciones realizadas durante la construcción del modelo.

La *evaluación independiente* utiliza una tercera parte, sin relación con los grupos que

desarrollan y utilizan el modelo, para decidir su validez. Cuando se completa el desarrollo, la tercera parte realiza su evaluación aplicando criterios definidos al efecto y, basado en su resultado, toma una decisión subjetiva sobre la validez. Este enfoque es requerido típicamente cuando el costo asociado a la construcción del modelo es significativo y se requiere construir confianza y credibilidad en los resultados obtenidos. El proceso de evaluación independiente es usualmente costoso y no siempre se obtienen resultados proporcionales al impacto económico que representan [Wood1986]. Otros autores rescatan la posición intermedia donde se involucra la participación de terceras partes durante el proceso de desarrollo o como revisores independientes de la validación y verificación hecha por el team de desarrollo [Sargent1998].

El último enfoque mencionado para determinar si el modelo es válido es el *modelo de puntaje* [Balci1989, Gass1987]. Este método asigna puntajes, usualmente en forma subjetiva o como resultado de opiniones de expertos, a distintos aspectos del proceso de evaluación y luego los combina para obtener un puntaje global del modelo. Éste es considerado aceptable si el puntaje final alcanza o supera determinados niveles predefinidos. Este método rara vez es utilizado en la práctica, ya que si bien la actividad de validación es en apariencia fundada en criterios objetivos, en realidad se fundamenta al igual que en los casos anteriores en asignaciones de puntajes en forma subjetiva. Además los valores relativos de los distintos aspectos bajo puntuación pueden permitir alcanzar los puntajes de aprobación cuando hay debilidades en el modelo, incluso significativas [Sargent1998].

Sea cual sea el método utilizado, la validación requiere realizar evaluaciones y, por lo tanto, está relacionada con el proceso de desarrollo. Luego de una revisión de metodologías tanto detalladas como generales para realizar la validación, Banks [Banks1988] resaltó la conveniencia de utilizar metodologías generales, como la expuesta en la Figura 3-7. En esta representación simplificada, el problema es el sistema real a ser modelado, y el modelo conceptual es la representación del problema. El modelo implementado es una representación apta para su ejecución.

El modelo conceptual es desarrollado a partir de una fase de *análisis y modelado*. Al completarse el modelo es *implementado* a partir de una etapa de programación o implementación y las inferencias sobre el problema son obtenidas mediante *experimentación*. Es posible, entonces, relacionar la validación y verificación en base a este modelo de desarrollo simplificado.

La *validez conceptual* del modelo consiste en la determinación que las teorías e hipótesis son correctas y que las representaciones utilizadas son razonables para el propósito y alcance del mismo. La *validez operativa* determina si el comportamiento de los resultados del modelo tiene suficiente precisión para el propósito perseguido en el dominio de aplicación. La *validez de datos* permite establecer con seguridad que los datos necesarios para la construcción del modelo, su evaluación y test son adecuados y correctos.

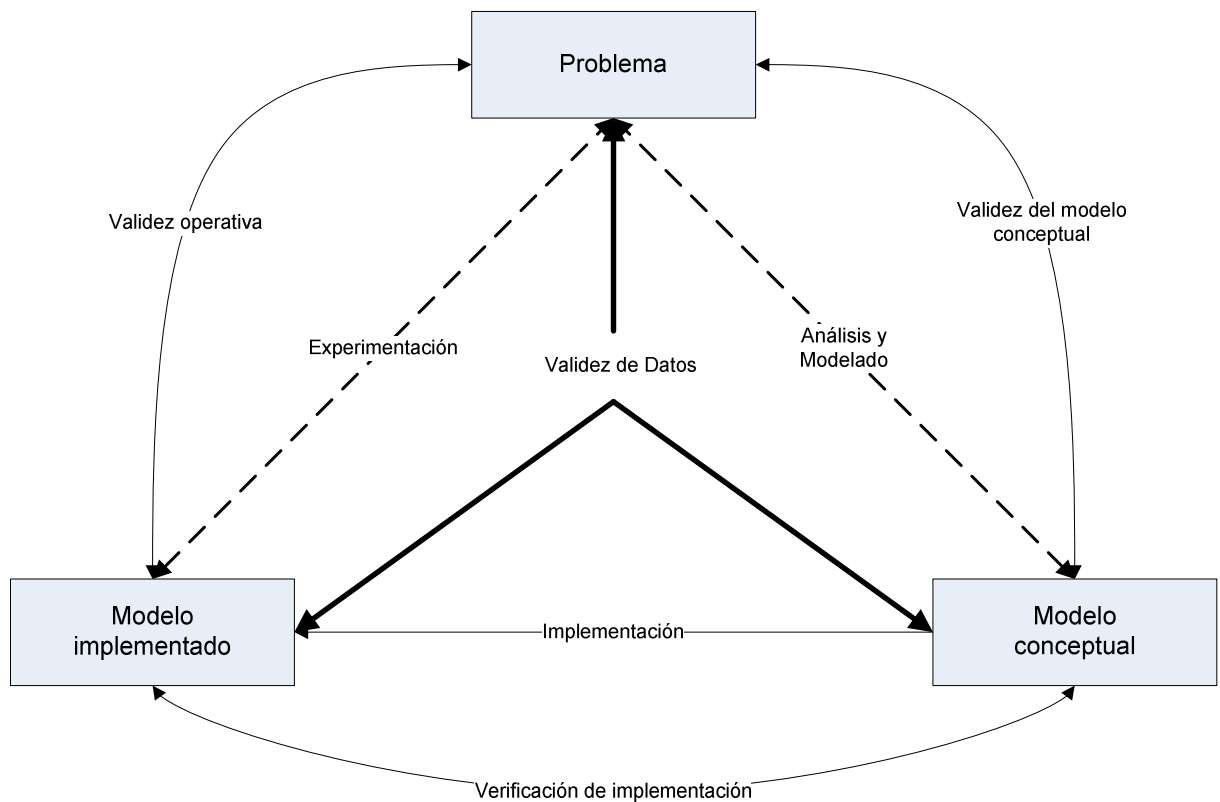


Figura 3-7 Metodología de modelado de proceso simplificado [Sargent1998]

Usualmente es necesario desarrollar varias versiones del modelo hasta que se obtiene uno cuyo comportamiento es satisfactorio; los pasos de verificación y validación deben ser realizados en cada iteración [Sargent1984].

En las secciones siguientes, se explicarán diferentes técnicas de validación. Sin embargo, los atributos a ser validados pueden influenciar en parte las técnicas seleccionadas por lo que no hay un algoritmo o heurística para determinar qué técnica es apropiada a cada modelo en particular [Sargent1984].

3.7.2. Técnicas de validación

Balci [Balci1984] ha relevado sistemáticamente los métodos disponibles, objetivos y subjetivos, para validar un modelo. Se entiende por validación objetiva la utilización de diferentes alternativas de *test estadísticos* o *procedimientos matemáticos*, como por ejemplo *test de hipótesis e intervalos de confianza*. En contrapartida, por validación subjetiva se entiende la evaluación de un experto o la comparación de patrones sin un test estadísticamente riguroso. Es usual utilizar más de una técnica combinada. Según las características del modelo se podrán aplicar diferentes técnicas, en el caso del modelo bajo desarrollo las que lucen como útiles serán:

- **Validación de condiciones extremas**

La estructura del modelo debe admitir valores extremos, pero posibles, en sus entradas y aún así producir resultados razonables; por ejemplo, la posibilidad que una organización que no tenga empleados alcance niveles de madurez según SEI-CMMI™ será, naturalmente, cero.

- **Revisión de expertos**

Consiste en consultar expertos en el sistema para determinar si el comportamiento del modelo es razonable.

- **Prueba de escritorio**

Los valores fijos en las entradas y parámetros del modelo permiten calcular manualmente o por medios auxiliares los resultados que deberían obtenerse para verificar que el modelo efectivamente obtenga esos resultados.

- **Métodos históricos**

Los tres métodos históricos de validación son *racionalismo*, *empiricismo* y *positivismo económico*. El racionalismo asume que todos conocen cuándo las hipótesis subyacentes al modelo son ciertas; de esta manera se pueden realizar deducciones lógicas para validar el modelo. El empiricismo requiere que cada hipótesis y resultado puedan ser empíricamente validadas. El positivismo económico requiere solamente que el modelo esté en condiciones de predecir el resultado del sistema real sin preocuparse por sus hipótesis o estructura interna.

- **Validación de múltiples etapas**

Este mecanismo, propuesto por Naylor [Naylor1967], propone combinar los tres métodos históricos previamente discutidos en un proceso de validación de múltiples etapas. Estas etapas son, en forma resumida, desarrollar el modelo, validar sus hipótesis empíricamente y comparar los pares de resultados entrada-salida con el sistema real.

- **Validez interna**

Varias ejecuciones del modelo, cuando opera estocásticamente, permiten obtener la variabilidad de los resultados. La recolección de evidencias de una gran dispersión de los resultados puede ser la base para cuestionar la operación del modelo.

- **Análisis de sensibilidad a parámetros**

Esta técnica consiste en cambiar los valores de entrada y parámetros internos del modelo para determinar los efectos en el comportamiento del resultado. Los mismos comportamientos deberían ser observables en el sistema real. Aquellos parámetros a los que el modelo es particularmente sensible, es decir que pequeñas variaciones producen grandes diferencias en los resultados, deben ser objeto de mayor cuidado en la formulación e interpretación de resultados.

- **Validación predictiva**

El modelo es utilizado para pronosticar el resultado del sistema real operando en determinadas

condiciones y luego el comportamiento resultante es comparado con el pronóstico del modelo

La aplicación de estas técnicas al modelo bajo desarrollo se realizará en el Capítulo 7.

3.7.3. Validez de los datos

Los datos son utilizados durante el proceso de creación y validación de un modelo con tres propósitos, que son crear el modelo conceptual, validar el modelo y realizar experimentos con el mismo una vez validado

Para construir el modelo conceptual se deben tener suficientes datos acerca del problema de manera que puedan desarrollarse teorías para ser utilizadas en la construcción. El resultado de este trabajo permitirá desarrollar las relaciones lógicas y matemáticas que permitirán representar adecuadamente el problema. Por otra parte, los datos de comportamiento del sistema serán necesarios a modo de casos de estudio para validar que el comportamiento del modelo lo replique adecuadamente.

A pesar de la preocupación sobre la validez, exactitud y volumen de datos disponibles, no se puede hacer demasiado para asegurar que los datos son correctos más que desarrollar buenos procedimientos para su recolección y validación, tales como chequeos de integridad y análisis de datos estadísticamente extremos u *outliers*.

3.7.4. Validación del modelo conceptual

La validación del modelo conceptual consiste en determinar si las teorías e hipótesis subyacentes son válidas y analizar que la representación del problema, la estructura de las relaciones y el armado lógico son razonables (según los alcances discutidos en la sección 3.3).

Las teorías e hipótesis subyacentes al modelo deberían ser testeadas utilizando análisis matemáticos y métodos estadísticos en datos provenientes de la formulación del problema. Ejemplos de teorías e hipótesis pueden ser *linealidad*, *independencia*, *normalidad* y *estacionalidad*, entre otros. Por otro lado, *correlaciones*, perfil de *momentos estadísticos* y *test de normalidad*, entre otros, pueden ser ejemplos de métodos estadísticos aplicables.

A continuación, cada componente del modelo y luego éste como un sistema, deben ser evaluados para determinar si su formulación es razonable y correcta para el propósito definido en el alcance. Esto incluye determinar si el nivel de detalle es apropiado y si la estructura lógica y de relaciones definidas son adecuadas para el propósito. El método primario de validación del modelo conceptual es la utilización de pistas de seguimiento de ejecución (*traces*) y revisión de expertos.

Cualquier error encontrado en el modelo conceptual debe ser removido antes de realizar la implementación.

3.7.5. Verificación de implementación

La verificación de la implementación asegura que la traducción del modelo conceptual a un formato ejecutable es correcta. En general, serán adecuadas las mejores prácticas en el campo de la ingeniería de software para asegurar que los requerimientos (modelo conceptual) son correctamente convertidos en un entregable (modelo implementado). Esto incluye técnicas de diseño orientadas a objetos, metodologías ágiles o cualquier otro proceso que sea adecuado a la herramienta utilizada. El test debe incluir pruebas unitarias, verificaciones de exactitud y corrección de resultados. Para realizar el test hay dos enfoques básicos: el *test estático* y el *test dinámico* [Fairley1976].

En el test estático el modelo es analizado, mediante técnicas tales como pruebas de escritorio, revisiones de pares o inspecciones, con el fin de determinar si está correctamente implementado.

El test dinámico implica ejecutar el modelo bajo diferentes condiciones pre-definidas y asegurar que los resultados obtenidos son los esperados. Las estrategias de test pueden ser tres. La primera consiste en que los componentes se prueban primero y se van tomando partes crecientes del modelo en pruebas sucesivas. En la segunda, se prueba el comportamiento general primero y se procede luego al test de los componentes. Finalmente, la tercera consiste en un método “*híbrido*” donde se utiliza una combinación de los dos métodos anteriores.

Las técnicas comúnmente utilizadas en pruebas dinámicas son pistas, validación de entradas-salidas y consistencias internas. Si el número de variables y parámetros es muy grande puede reducirse el esfuerzo de test mediante el agregado de variables y parámetros con valores fijos razonables para evaluar cómo se comporta el resto de las condiciones del sistema modelado.

3.7.6. Validez operativa

Esta validación tiene por propósito determinar que el comportamiento de los resultados del modelo tiene la precisión requerida por el fin en el que se los utilizará. Esta es la etapa de la validación que insume el mayor esfuerzo. Puesto que se utiliza el modelo implementado, cualquier falla en los datos de entrada, la implementación o el modelo conceptual puede derivar en problemas encontrados durante esta etapa.

El principal criterio para definir la validez operativa de un modelo es identificar si el problema bajo estudio es observable, entendiendo por *sistema observable* aquellos donde es posible recolectar resultados relevantes al problema sobre el comportamiento del sistema bajo estudio; como contrapartida serán sistemas no-observables aquellos cuyos resultados relevantes al problema no pueden ser estudiados directamente.

La Tabla 3-1 aporta una clasificación de las distintas formas de encarar el análisis de la

validez operativa, para lo que se dispondrá de métodos subjetivos y objetivos.

Validación	Sistema observable	Sistema no-observable
Subjetivo	• Comparar gráficos • Explorar comportamiento del modelo	• Explorar comportamiento • Comparar con otros modelos
Objetivo	• Comparar usando test estadísticos	• Comparar con otros modelos usando test estadísticos

Tabla 3-1 Clasificación de validez operacional [Sargent1998]

Por “comparar” se entiende realizar la confrontación entre el modelo y el sistema real y por “explorar” se entiende aplicar técnicas de validación en los resultados tales como análisis de sensibilidad a determinados parámetros o variables.

Hay al menos tres formas de realizar la comparación entre dos modelos o entre un modelo y el sistema real que representa, estas son:

1. Gráficos tales como box/whisker y scatter.
2. Intervalos de confianza.
3. Test de hipótesis.

Estos métodos serán descriptos con algún detalle adicional en las siguientes secciones.

3.7.6.1 Comparación gráfica de resultados

La comparación entre los resultados del modelo y del sistema puede realizarse a partir de las medias, la varianza, los mínimos/máximos y la distribución. También se puede apelar a resultados combinados entre dos variables de salida, por ejemplo proporciones entre ellas.

El método gráfico es probablemente el más utilizado, y sirve de entrada a un proceso de revisión de resultados donde el grupo de desarrollo juzga subjetivamente la validez o requiere que un grupo de expertos externo o independiente haga la validación.

3.7.6.2 Intervalos de confianza

El establecimiento de intervalos de confianza puede ser expresado, según sea conveniente, para las diferencias entre medias, varianzas y distribuciones de las diferentes variables del modelo bajo estudio y el sistema real. Esta técnica no es utilizada en este trabajo de investigación, pero los detalles de su uso pueden encontrarse en la literatura a partir del trabajo de Balci [Balci1984].

3.7.6.3 Test de hipótesis

Se pueden usar tests de hipótesis para comparar las medias, varianzas, distribuciones o series

temporales de los resultados del modelo respecto al sistema real para cada conjunto de condiciones experimentales. De esta forma se valida que los resultados exhiban un grado adecuado de exactitud. La exactitud que requiere el modelo para ser válido en su propósito definido se denomina *exactitud adecuada*, y puede ser bastante diferente de la exactitud máxima que puede ofrecer la metodología utilizada.

El primer paso en un test de hipótesis es establecer las hipótesis a ser testeadas, las que típicamente serán:

- H_0 (hipótesis nula): el modelo es válido dentro del margen aceptable de precisión.
- H_a (hipótesis alternativa): el modelo no es válido dentro del margen aceptable de precisión.

Hay dos tipos de errores posibles al formular test de hipótesis. El primero, o error *Tipo I*, es rechazar la hipótesis nula cuando el modelo es válido. El segundo, o error *Tipo II*, es aceptar la hipótesis nula y que el modelo sea inválido.

La probabilidad de un error de Tipo I se denomina α o *riesgo del constructor*, mientras que la probabilidad de un error de Tipo II, se denomina β o *riesgo del usuario*. Ambos errores son importantes y deben ser cuidadosamente considerados al realizar validaciones de hipótesis, tomando nota de las amenazas a la validez que puede generar cualquier situación encontrada. Se discutirá con mayor detalle la técnica de test de hipótesis en el Capítulo 6.

3.7.7. Mejores prácticas de validación

Sargent [Sargent1998] recomienda que el modelo sea validado, como mínimo, mediante la realización de los siguientes pasos:

1. Definir claramente un nivel de validación y un conjunto básico de técnicas para validar el modelo antes de comenzar.
2. Especificar el nivel de precisión requerida en los resultados.
3. Probar, cuando sea posible, las hipótesis y teorías que sustentan el modelo.
4. Hacer inspecciones visuales del modelo conceptual en cada iteración del desarrollo.
5. Explorar el comportamiento del modelo implementado en cada iteración.
6. Realizar comparaciones, al menos en la última iteración, entre el modelo y el sistema con al menos dos juegos de condiciones experimentales.
7. Documentar apropiadamente el modelo.
8. Planear revisiones periódicas en caso que el modelo fuera a ser utilizado por un tiempo prolongado.

3.8. Modelos dinámicos en SPI

Los modelos dinámicos han sido utilizados extensivamente por distintas disciplinas relacionadas con el SPI. A partir del trabajo ya citado de Abdel-Hamid [Abdel-Hamid1990], que abordó la representación de un proceso de desarrollo completo utilizando modelado dinámico, se propusieron numerosos modelos directamente como refinamientos de sus subsistemas o como derivados. Ruiz [Ruiz2001, Ruiz2005a, Madachy1997] demostró la utilidad de realizar versiones simplificadas del modelo para estudiar aspectos específicos de áreas del proceso sujetas a mejoras.

Se han publicado muchos otros resultados positivos sobre el uso de técnicas de modelado dinámico para representar aspectos del proceso de desarrollo de software [Smith1993, Aranda1993, Chichakly1993, Cooper1993, Lin1993, Madachy1996].

Madachy investigó los efectos de inspecciones en distintos resultados del proceso de software [Madachy1994]. Por su parte, Tvedt utilizó modelos dinámicos para explorar las características del desarrollo incremental y estrategias para retrabajo [Tvedt1995]. Colofello [Colofello1996] aplicó modelado dinámico a la optimización de la etapa de test unitario y a la exploración de los procesos integrados encontrados en la tercerización de la construcción de software [Colofello1999]. El modelado de los impactos en costo fue estudiado en profundidad por Rus [Rus1998], quien además se concentró en el impacto en calendarios de la aplicación de mejores prácticas en ingeniería de software asociadas a calidad.

El ya citado Burke [Burke1997] utilizó modelado dinámico para explorar el comportamiento organizacional durante la evolución de madurez bajo el modelo SEI SW-CMM, con especial énfasis en lograr la institucionalización de los esfuerzos en SPI, mientras que Setamanit [Setamanit2007] aplicó el modelado a la comprensión de procesos de desarrollo globales. El uso de modelos dinámicos para alcanzar niveles altos de madurez del modelo SEI-CMMI™ fue discutido por Miller [Miller2002].

La integración entre modelos dinámicos de desarrollo y modelos de estimación de costos fue abordada por Rubin [Rubin1995] y Madachy [Madachy1995]. Este último autor también exploró la heurística de análisis de riesgo de proyectos [Madachy1994]. La aplicación de modelos dinámicos a la evaluación de cambios fue abordada por Lin [Lin1992], mientras que el campo de estimar el esfuerzo óptimo en calidad fue abordado por Abdel-Hamid en cooperación con Madnick [Abdel-Hamid1990]. La mejora de procesos de software utilizando modelos dinámicos fue estudiada por Carreira [Carreira2001] y Ruiz [Ruiz2001, Ruiz2005b], trabajos cuya principal novedad consiste en la utilización de modelos simplificados de un aspecto en particular del proceso de software en lugar de un modelo completo de todo el proceso.

Wakeland [Wakeland2005] desarrolló heurísticas de optimización para la validación y

verificación de modelos de simulación de procesos de software y métodos para diseño de experimentos y análisis de sensibilidad para evaluar cambios en el proceso de desarrollo.

Numerosas contribuciones fueron aportadas por Raffo respecto al modelado de procesos de software, tales como el desarrollo de modelos híbridos entre los tipos discreto y continuo [Raffo2000b y Raffo2001], uso de modelos para gestionar proyectos de software [Raffo2000c], análisis empírico como herramienta en la simulación de procesos de software [Raffo2000d], herramientas para generar casos de negocio que justifiquen la utilización de modelos [Raffo1999a] y mecanismos para utilizar simulaciones como herramientas para alcanzar niveles superiores de SEI SW-CMM [Raffo1999b]. En colaboración con Kellner y Madachy definieron el contexto de aplicabilidad de modelos de software [Kellner1999].

3.9. Resumen

Durante las diferentes etapas de la investigación realizada en ésta tesis se comprendió la necesidad de mostrar cautela en la formulación de modelos, en particular cuando no existen implementaciones que puedan ser utilizadas como guía.

Se ha visto en este capítulo la naturaleza compleja entre el valor de un modelo y la confianza que se tiene en él. El punto crucial, contrariamente a lo que podría suponerse, no es implementar un modelo determinado sino validarlo en un grado que resulte satisfactorio a su propósito.

No es en modo alguno casual que la mayor parte de los modelos de la bibliografía deriven mayoritariamente de modelos raíz, como por ejemplo el formulado por Abdel-Hamid a comienzos de la década de los ochenta. El uso de una implementación conocida, probada y aceptada permite a los investigadores concentrarse en el problema a resolver en vez de dedicar esfuerzos a demostrar que las herramientas utilizadas son adecuadas en primer lugar.

El campo elegido, la ingeniería de software, presenta múltiples antecedentes en el uso de modelos de diferentes tipos. Pero no hay trabajos previos en el campo específico de evaluar las inversiones en SPI mediante modelos sistémicos; este hallazgo ayuda a confirmar la utilidad del camino elegido y la originalidad del enfoque empleado.

Este estado de cosas obliga a trabajar con cautela, y para ello será necesario identificar mejores prácticas que guíen el proceso de construcción primero y el de evaluación posteriormente. Debido a ello se ha realizado una investigación detallada sobre los fundamentos para el desarrollo de modelos dinámicos y, lo que es importante, que marco metodológico es aplicable a su verificación y validación.

Desafortunadamente no se identifican métodos rigurosos que garanticen que el modelo esté bien implementado o que cumple su propósito de representar razonablemente el sistema real. Las

mejores prácticas piden adquirir datos, disponer de una formulación teórica y aplicar el juicio que se deriva de la experiencia para analizar los resultados.

Cada uno de los pasos tendrá secuencias de acciones a ser realizadas en la formulación, construcción y finalmente evaluación del modelo; su seguimiento permitirá adquirir confianza, en los desarrolladores primero y en los usuarios después, sobre la capacidad del instrumento para representar el sistema real propuesto, las inversiones en SPI realizadas por organizaciones.

La naturaleza preliminar del modelo a presentar, propia de un primer esfuerzo en la dirección elegida, conduce necesariamente a realizar juicios críticos sobre qué aspectos son relevantes y cuáles no, las principales fuentes de datos, dentro de qué márgenes de precisión es aceptable su uso y los límites para la validez del modelo resultante.

Las guías relevadas en éste capítulo permiten establecer acciones recomendadas y aprendizajes que serán utilizados como marco teórico para el trabajo desarrollado en los capítulos siguientes.

"Todo es posible para el que cree"

Marcos, 9:23

Capítulo 4 Modelo de inversión en SPI

En este capítulo se darán los primeros pasos en la construcción del modelo, esto es, delinear y formular un modelo conceptual.

Afortunadamente hay abundantes referencias sobre la exitosa formulación y utilización de modelos en el campo de la ingeniería de software en general y de actividades SPI en particular. Desafortunadamente, no hay referencias sobre el armado de modelos dinámicos que aborden el estudio de las inversiones en SPI que se puedan usar como guía. La formulación del modelo se realizará identificando los factores y relaciones sobre la base de la literatura previamente relevada.

La experiencia recogida en el gerenciamiento y consultoría de organizaciones que han realizado inversiones en SPI ayudará a sopesar las variables que pueden tener influencia significativa en los resultados, así como identificar aquellas sobre las cuales es necesario realizar conjeturas que luego sean validadas por métodos empíricos.

El uso de técnicas de análisis financiero obscurece, algunos supondrán que innecesariamente, un modelo que en general se expresa en relaciones simples, pero su uso permite lograr el importante objetivo de considerar el tiempo y el riesgo en la evaluación de la inversión SPI. Muy pocas referencias proveen otros datos más allá de análisis económicos de costo y beneficio. La utilización de herramientas financieras agrega perspectiva y permite descubrir fuentes de valor que no son evidentes con otro tipo de técnicas de evaluación.

4.1. Introducción

La formulación de un modelo de inversiones en SPI implica, en esencia, entender cuáles son los fondos que egresarán e ingresarán, cuándo lo harán y cuál es el riesgo. Sólo los dos primeros factores son necesarios para hacer una evaluación económica simple mientras que se requieren los dos últimos para además transformar la evaluación en financiera. Una decisión racional consistirá en progresar con la inversión no sólo si ésta es rentable, sino también si es más rentable que todas las otras inversiones alternativas que la organización pudiera tener en el momento.

El modelo de inversión deberá asumir que las organizaciones desarrolladoras de software desean ser competitivas y que, impulsadas por criterios racionales, se embarcarán en iniciativas SPI porque creen que al hacerlo tendrán beneficios. Esto se aleja del punto de vista observado en

distintas oportunidades en la bibliografía respecto al SPI, que lo considera como incondicionalmente bueno para cualquier organización y contexto por el sólo hecho de implementar “*mejores prácticas*”.

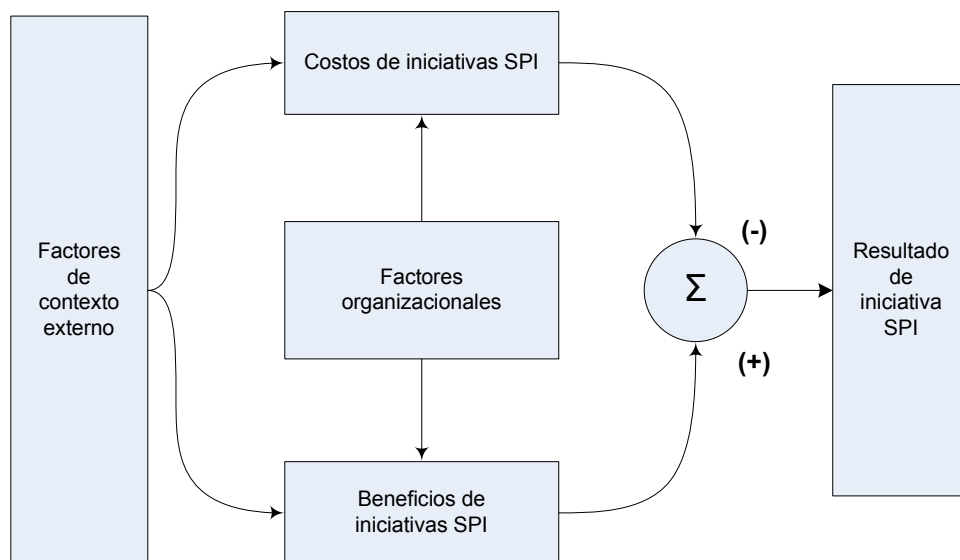


Figura 4-1 Modelo conceptual de inversión en SPI

El modelo conceptual fue visto previamente y se repite para mayor claridad en la Figura 4-1. De alguna manera, esta estructura se deriva de considerar los esfuerzos SPI como procesos sistémicos que son parte del pensamiento de una organización inteligente [Senge1990, Katz1978]. Bajo esta perspectiva la organización es vista como un sistema con entradas, salidas y funciones de transferencia entre éstas.

La formulación recurre a la definición de cuatro grandes elementos:

- **Factores de contexto externo.** Son todos los factores externos a la organización pero que condicionan la forma en que ésta opera y eventualmente implementa sus iniciativas SPI. Actúan, en general, como *parámetros* del modelo.
- **Factores organizacionales.** Son todos los factores de índole interna a la organización, es decir, sujetos a procesos de decisión e influencia en la forma que opera e implementa la iniciativa SPI. En general actuarán como *variables independientes* del modelo.
- **Costos de iniciativa SPI.** Será la magnitud de los costos a incurrir como parte de la inversión SPI. Se asume como variable dependiente de los dos anteriores.
- **Beneficios de iniciativa SPI.** Representa la magnitud de los ingresos o beneficios que reportará la inversión SPI y también se considerará variable dependiente de los dos primeros.

Las variables *independientes*, *dependientes* y *parámetros* de un modelo serán discutidas con

más detalle posteriormente en Capítulo 5 en la sección 5.2.4.

El quinto elemento, el *resultado de la iniciativa SPI* se tomará como la suma algebraica de los costos y beneficios normalizados por tiempo y riesgos, es decir, el *valor presente neto* (VPN) de la inversión. Al asumir que la gerencia de la organización tomará decisiones racionales se considerará viable la inversión cuando el VPN sea mayor a cero. Cada organización deberá luego definir cuál de todas las inversiones viables que tengan en su portafolio en un momento dado es la que recibe los recursos por aportar el máximo valor.

Dado que el VPN como criterio de decisión estará formado por la combinación de dos variables dependientes (costos y beneficios), será en sí misma una variable dependiente del modelo, de hecho el principal resultado visible que producirá.

4.2. Tipos de flujos de fondos

Cuando se consideran los flujos de fondos, ingresos o egresos, se los puede dividir en *tangibles* e *intangibles*.

4.2.1. Flujos de fondos tangibles

Los flujos tangibles son aquellos que son esperados o pronosticados como resultado de la inversión, sean egresos o ingresos. El establecimiento de un pronóstico de los flujos de fondos en una inversión, también llamado *planeamiento financiero* o *presupuesto financiero*, probablemente no requiera, en la mayoría de las disciplinas, la realización de una actividad de investigación. Después de todo, las prácticas de ingeniería desarrollan estos análisis rutinariamente. Un ingeniero civil por ejemplo, ante un prospecto de obra tomará bocetos previos y usando factores aceptados en la industria de costo lineal, superficial o volumétrico puede computar con un margen pequeño de error cuales serán los costos de construcción. Seguramente también considerará una serie de valores promedio de posibles contingencias, por ejemplos días de lluvia o enfermedad del personal, para completar una estimación. Con posterioridad, procurará iterativamente mejorar sus planes en la medida que los diseños adquieran más detalle. Por su parte, especialistas inmobiliarios pueden tasar el resultado para valuar cual será el valor creado, ya sea que la obra esté destinada a ser vendida o conservada como capital.

La pregunta es, ¿puede hacerse lo mismo en ingeniería de software? Y la respuesta es que, desafortunadamente, no. En el armado de este trabajo se conjetura que hay al menos tres razones para ello:

- La ingeniería de software no tiene un cuerpo de costos y mejores prácticas para computarlos con un grado de madurez comparable al de otras ramas de la ingeniería.

La bibliografía está lejos de recomendar una metodología concreta para formular un caso de negocios en SPI y sólo abundan casos de estudio aislados donde la información sobre egresos e ingresos es provista en forma fraccionaria, cualitativa y sin una definición operativa clara. La ausencia de claridad sobre los métodos para calcular los costos y beneficios hace difícil transportar las figuras a otros casos. Casi ninguna información sobre el contexto organizacional alrededor del esfuerzo SPI es provista usualmente en los casos de estudio. En los pocos casos donde se explica la metodología para formular un caso de negocio, éste es construido solamente alrededor de consideraciones económicas [Rico2000]. Al no considerarse efectos financieros se perderá la posibilidad, como veremos, de capturar fuentes adicionales de valor de la inversión SPI.

- Según lo visto en el Capítulo 2 la ingeniería de software opera sobre estructuras cognitivas complejas cuyos resultados son difíciles de medir en forma directa. Las otras ramas de la ingeniería, en cambio, operan sobre estructuras físicas sujetas a medición directa. Por otra parte, las técnicas basadas en mejorar a partir de la repetibilidad son pobremente adaptables. Esto ocurre puesto que las sucesivas ejecuciones de un proceso de software no son asimilables a la fabricación de piezas mecánicas por un método automático; y por lo tanto no son aplicables aproximaciones incrementales para obtener resultados dentro de márgenes especificados de tolerancia.
- Finalmente, y aunque logremos medir o estimar con ciertas concesiones valores promedio aceptables para cada uno de los factores intervinientes, serán muy pobres las conclusiones que podamos conjeturar para el conjunto de la población. Cada factor puede adoptar valores en rangos, en ocasiones amplios, e interactúan además en forma compleja entre sí. Es necesario poder aplicar técnicas de modelado dinámico para abordar las cuestiones sobre los resultados del sistema.

Se empezará entonces por identificar las distintas fuentes de ingresos y egresos durante una inversión en SPI, además de cuáles son los factores y relaciones que los definen. Será necesario, en algunas oportunidades, establecer hipótesis sobre las relaciones basadas en conjeturas sustentadas en la teoría, la experiencia o que emerjan de los datos.

Los ingresos y egresos serán normalizados luego por tiempo y riesgo, utilizando el cálculo del VPN de forma de establecer si la inversión es rentable. Este cálculo también permitirá, eventualmente, comparar la inversión en SPI con otras alternativas que la organización pudiera tener para la aplicación de sus recursos.

4.2.2. Flujos de fondos intangibles

La experiencia permite observar que si bien la mayoría de las inversiones sigue un criterio racional como el descrito, es decir, que sea rentable y mejor que inversiones alternativas, en ocasiones los directores de empresas deciden inversiones aunque el caso formal sea marginal o incluso desfavorable. En estos casos se alude a la existencia de *costos o beneficios intangibles*.

En los casos de negocios, estos flujos de fondos especiales, cuando son utilizados, no suelen adquirir una dimensión cuantitativa sino cualitativa, lo que genera un problema importante para cualquier esfuerzo de modelado. La literatura [Alvarez1997, Brealey2000] sostiene el punto de vista que los beneficios deberían ser tangibles para ser considerados y que sólo se debería progresar con inversiones cuyo valor para la organización sea conocido, medible y sujeto a gestión. Bajo esta perspectiva, los flujos intangibles sólo deberían considerarse como moderadores cualitativos de la inversión pero no el principal criterio racional para realizarla o rechazarla.

La experiencia práctica en firmas, sobre todo en PyMEs, muestra que los directores calibran factores subjetivos esenciales a la supervivencia de la organización, tales como escasez de recursos críticos, gestión del conocimiento, dificultades de financiamiento, satisfacción del cliente o de los empleados, diferenciación competitiva, acceso a determinados mercados o clientes, entre otros.

Será probablemente sujeto de otro esfuerzo de investigación diferente determinar con mayor precisión qué factores intangibles intervienen en una decisión de inversión en SPI y en qué medida.

A los efectos de abordar este problema en términos prácticos, la experiencia indica que estos factores pueden considerarse en dos grandes grupos, *beneficios contingentes* y *riesgos contingentes*.

4.2.2.1 Beneficios contingentes

Son beneficios o ingresos que no son considerados en el caso de negocio, pero se conjetura que serán obtenidos como resultado o consecuencia de la inversión. Ejemplos al respecto pueden ser la habilidad para realizar proyectos de mayor envergadura o acceso potencial a nuevos mercados o clientes.

Un caso típico puede ser que la organización pueda participar en los mercados offshore, donde rutinariamente se establece la necesidad que los participantes demuestren evaluaciones formales de sus procesos. Al no ser firmes, suelen escapar a las metodologías más rigurosas de armado de casos de negocios. El modelo debe proveer instrumentos para capturar este tipo de beneficios en forma cuantitativa, en la forma de hipótesis de crecimiento o ingresos extraordinarios.

4.2.2.2 Riesgos contingentes

Son gastos cuya realización es posiblemente necesaria debido al contexto del negocio, pero que no son lo suficientemente firmes como para ser considerados en el armado de un caso de SPI. Un típico ejemplo es incurrir en problemas legales como resultado de la inversión o que ésta falle y no se pueda realizar ningún beneficio. Sin embargo, el modelo a formular debe permitir considerar

egresos de estas características.

En condiciones ideales, el *costo de oportunidad* o *tasa de descuento* opera en el cómputo del VPN como un instrumento de normalización de tiempo y riesgo. Flujos de fondos lejanos en el futuro o demasiado riesgosos contribuyen menos en el VPN que flujos más cercanos o menos riesgosos.

En la definición del costo de oportunidad se elige el riesgo que la inversión representa para la organización y éste debe incluir los riesgos contingentes.

Sin embargo, es común observar en la experiencia profesional que los directores financieros introduzcan otros instrumentos para mitigar el riesgo. Por ejemplo, que descuenten los flujos a una tasa, por caso la rentabilidad promedio de la organización, pero exijan al mismo tiempo que el pago de la inversión sea dentro de un horizonte determinado, llamado *horizonte de inversión* t_p .

Otro mecanismo para tener en cuenta el riesgo es establecer un límite máximo a la magnitud absoluta de la inversión, por ejemplo en relación a los activos o capital corriente, independientemente de cuál es la magnitud del valor aportado por la inversión. Esta acción evita distorsiones significativas en las estructuras de deuda de la organización, generando como resultado un incremento del riesgo. Por ejemplo, si una inversión que presenta un VPN mayor que otra falla significando la quiebra de la firma, es claro que su riesgo es muy superior que otra que no produzca esa condición.

No es difícil percibir que la heurística es tomar el riesgo del gasto contingente y su magnitud en forma conjunta. De hecho, hacerlo de esta forma es una práctica recomendable de gestión de proyectos [PMBok].

Estos mecanismos son una forma implícita de reconocer que un proyecto en evaluación es más riesgoso que la operación promedio de la organización.

A los efectos del modelado, este tipo de gastos pueden ser tenidos en cuenta tanto mediante ajustes de la tasa de costo de oportunidad r como en la consideración del horizonte de inversión t_p para reflejar adecuadamente las opiniones de la dirección respecto a cómo perciben el riesgo de las iniciativas SPI.

4.3. Definición del problema a modelar

Para la formulación del modelo conceptual se seguirán los pasos discutidos en el Capítulo 3 de forma que las variables independientes y los parámetros muestren una relación funcional con la variable dependiente, en una estructura tal como:

$$Y = f(X_1, \dots, X_n; Z_1, \dots, Z_m) \quad \text{Ec 14}$$

La *variable dependiente* (Y) o el resultado del modelo es expresada en términos de un

conjunto de n variables independientes ($X_1, \dots, X_n$) y m parámetros de contexto ($Z_1, \dots, Z_m$). Por conveniencia, representaremos a la variable dependiente como función de otras variables dependientes intermedias que representarán las diferentes fuentes de costos e ingresos.

Adoptando la terminología de mejora de procesos basada en técnicas estadísticas (Six Sigma) se suele denominar a la variable resultante final como “*gran Y*” (big Y), mientras que a las variables dependientes intermedias como “*pequeñas y*” (small y). Utilizando esta notación, la ecuación Ec 14 será entonces expresada como:

$$Y = f(y_1, \dots, y_l) = f(X_1, \dots, X_n; Z_1, \dots, Z_m) \quad \text{Ec 15}$$

Tanto en esta ecuación como en la anterior, el número total de variables dependientes, independientes y parámetros que utilice el modelo es arbitrario.

Ya se ha identificado a priori que la *gran Y* es el VPN de la inversión en SPI, mientras que las *pequeñas-y* son los flujos de egresos e ingresos necesarios para desplegarla, el costo de oportunidad r y el horizonte de planeamiento t_p . A partir de su consideración podemos reformular la Ec 15 como:

$$VPN = \sum_{t=0}^{t=t_p} \frac{(I_t - E_t)}{(1+r)^t} = f(X_1, \dots, X_n; Z_1, \dots, Z_m) \quad \text{Ec 16}$$

La Ec 16 es simple conceptualmente: la inversión transcurre en el tiempo desde un momento inicial $t=0$ hasta un determinado horizonte de inversión t_p definido por la organización. Para cada período discreto t entre ambos momentos, los *ingresos* I_t y *egresos* E_t serán los flujos de fondos de ese período. Para normalizar estos flujos por tiempo y riesgo se descontarán al costo de oportunidad r definido por la organización como representativo del riesgo que percibe en el proyecto. Se asume que r está expresado en términos de tiempo consistentes con la partición en períodos usada para el flujo de fondos. Por ejemplo, si los flujos se calculan mensualmente, r debe estar expresado como una tasa efectiva mensual. Pero los flujos de ingresos y egresos siguen siendo variables dependientes. En las secciones siguientes se formularán conjeturas sobre las relaciones que las determinan partiendo desde factores organizacionales y de contexto independientes.

Como se vio previamente (en la sección 4.2.2.2), limitar el horizonte total para considerar flujos de fondos es un instrumento indirecto para mitigar riesgos contingentes del proyecto. Al mismo, tiempo carece de sentido considerar flujos de fondos indefinidamente cuando la evaluación SEI-CMMI™ es perecedera y debe renovarse periódicamente cada tres años, como máximo.

Para completar el modelo conceptual será necesario enumerar los factores a considerar como términos de ingresos y egresos asociados a la inversión en SPI. Para ello, se obtiene desde la literatura, el análisis de los datos y la experiencia profesional los factores relevantes a considerar. Estos son sumariados en la Figura 4-2.

Los *ingresos por SPI* son todos los flujos de fondos que recibirá la organización como consecuencia de la inversión en SPI. Estos estarán relacionados con los incrementos en los ingresos brutos de la organización, las mejoras en performance por operar a un nivel mayor de madurez y los beneficios intangibles.

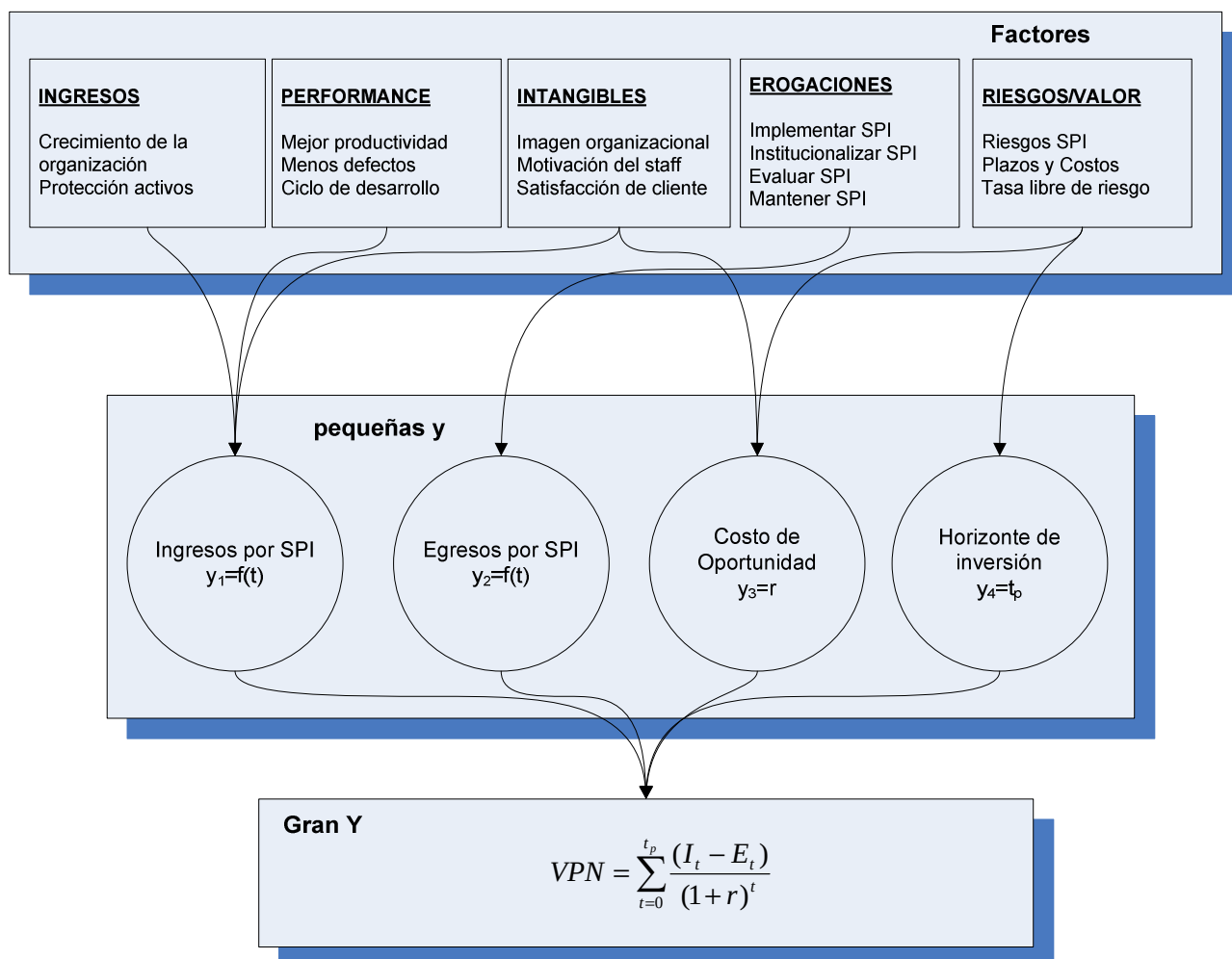


Figura 4-2 Factores relevantes en el modelo conceptual de inversión en SPI

Es importante notar que tanto el costo de oportunidad r como el horizonte de inversión t_p son variables dependientes en el sentido que son elegidas por la gerencia de la organización en base a otros factores. Sin embargo, en la formulación del modelo operarán en forma similar a una variable independiente representando todos los factores que participaron en su elección.

Los *egresos por SPI* son todas las erogaciones que la organización deberá realizar como parte de la inversión SPI. Se conjetura que consistirán en los costos asociados a implementar, institucionalizar, evaluar formalmente y mantener en el tiempo el proceso mejorado resultado del esfuerzo SPI.

El *costo de oportunidad* reflejará las mejoras que obtiene la organización a partir de dos mecanismos. Por un lado, la menor incertidumbre de operación, y por el otro, a partir de considerar la mayor solidez provocada por la obtención de beneficios intangibles, tales como satisfacción de clientes, empleados y solidez en los comportamientos organizacionales. Al finalizar la inversión se podrá operar con mayor certidumbre en los plazos y costos, por lo que deberá considerarse que el riesgo disminuirá, y por lo tanto también lo debería hacer el costo de oportunidad. Resultará adecuado a la formulación del modelo considerar flujos de fondos mensuales.

Los factores intangibles discutidos previamente no son susceptibles de ser introducidos directamente en un modelo cuantitativo, pero al mismo tiempo, su existencia permite que la operación de la organización sea más consistente y robusta y por lo tanto que sus resultados también tengan menos incertidumbre.

Se ha visto que el costo de oportunidad es un instrumento para considerar cuál es la incertidumbre o riesgo asociado, por lo tanto en el modelo se asumirá que permitirá representar los valores intangibles adecuadamente. Al mismo tiempo, se buscará validar que en el contexto de uso los beneficios intangibles efectivamente se verifican.

Finalmente, el *horizonte de inversión*, es el tiempo máximo que la organización está dispuesta a esperar para percibir la totalidad de los beneficios de la inversión. Como se discutirá en detalle posteriormente, funciona como una respuesta de mitigación al riesgo percibido en la iniciativa SPI.

A medida que se construya el modelo se definirán las distintas variables dependientes, independientes y parámetros para los factores respectivos. El significado detallado de cada uno de ellos y cómo participan en definir las relaciones entre los diferentes factores será explorado en las siguientes secciones. Una vez obtenidos los factores (*pequeñas y*), se obtiene el VPN (*gran Y*) como la suma de los flujos descontados resultantes.

4.4. Egresos por SPI

Los egresos que conforman la inversión SPI serán inicialmente los necesarios para implementar e institucionalizar el proceso de software mejorado. Finalizado su despliegue, la organización deberá conducir una evaluación que le indique si el nuevo proceso alcanza los objetivos propuestos. Si ésta es exitosa, luego será necesario continuar asignando esfuerzos a mantener actualizado el proceso desplegado, usando un esquema de mejora continua.

Con la excepción de la evaluación, las otras erogaciones están mayoritariamente constituidas por el costo del esfuerzo de los equipos de trabajo involucrados en las distintas etapas del despliegue y ulterior mantenimiento. En general, la bibliografía cuando provee detalles lo hace en

términos de esfuerzo en unidades apropiadas, por ejemplo *personas-mes* o *personas-año* o *horas de esfuerzo* o similar. Dada la multiplicidad de roles involucrados y las múltiples arquitecturas de organización utilizadas cabría suponer que no es fácil identificar una forma rápida de transformar esfuerzos en costos.

Afortunadamente es posible utilizar con este propósito la figura del promedio ponderado de costos de personal. Este valor recibe usualmente el nombre de *costo por ingeniero* (CPE por sus siglas en inglés *cost per engineer*). Está compuesto por todos los costos directos e indirectos del personal y será utilizado como el instrumento para convertir esfuerzos en flujos de fondos. En los mercados de TI es habitual establecer los segmentos de competencia en función del CPE que pueden ofrecer las organizaciones y, bajo esa premisa, es que pueden ser comparadas directamente organizaciones de diferentes tamaños y ubicaciones geográficas.

El CPE es ciertamente influenciado por factores de mercado laboral y macroeconómicos. Además, la organización puede definir la oferta de servicios que considera estratégica, por lo que cada segmento de oferta en los que la organización desea trabajar determina el nivel de conocimiento de los profesionales que involucra en los desarrollos y por lo tanto el CPE. Si todos los otros factores se mantienen iguales hasta cierto punto, el costo por ingeniero dependerá entonces de las decisiones de la organización.

4.4.1. Esfuerzo de despliegue

Según lo discutido previamente, el *esfuerzo de despliegue* incluirá la creación de la infraestructura con un organismo interno, como el SEPG o similar (ver la sección 2.1.3), que se encargue de definir los procesos o sus modificaciones e impulsar su implementación. Además, incluirá el esfuerzo en los proyectos para adoptar los procesos definidos y utilizarlos consistentemente como parte del desarrollo. Finalmente, existirá un costo alrededor de las iniciativas de tipo organizacional que son necesarias, en particular, cuando se aborda un nivel de madurez 3 o superior según SEI-CMMI™.

La literatura es muy inconsistente en la consideración de la magnitud de este factor, ya que la mayoría de las referencias reportan valores absolutos con pocas referencias del contexto, mientras que unas pocas refieren magnitudes como proporción del tamaño de la organización.

La experiencia sugiere que el esfuerzo de despliegue es relativamente independiente del tamaño de la firma. Por ejemplo, el tamaño de un grupo SEPG sólo aumenta muy lentamente con el crecimiento de la empresa a la que sirve. Podría esperarse, por otra parte, que organizaciones más grandes tengan costos mayores de despliegue, pero nuevamente esto no tiene que ser así necesariamente. Después de todo, la unidad de despliegue es el proyecto y no los individuos. Con las escalas del caso, una organización que decida implementar procesos en 10 proyectos que tienen

un promedio de 5 profesionales por proyecto, requerirá un esfuerzo no demasiado menor a si esos 10 proyectos tuvieran, por ejemplo, 20 profesionales cada uno.

Para permitir investigar con más detalle el papel del tamaño organizacional, se plantea inicialmente, con propósitos del modelado, que este *esfuerzo de despliegue de procesos* E_d estará relacionado proporcionalmente con el *tamaño de la organización* N con una función de transferencia dada por la ecuación:

$$E_d = \alpha_d \times N + \beta_d \quad \text{Ec 17}$$

Donde α_d representa la *asignación de recursos* a las distintas iniciativas realizada durante el período de implementación y β_d los esfuerzos fijos a nivel de la organización durante el mismo.

4.4.2. Esfuerzo de entrenamiento

El esfuerzo de implementación debe ser seguido por la institucionalización de los procesos, de forma que los mismos sean efectivamente comprendidos y utilizados por la totalidad de la organización. Para ello, se requiere un *esfuerzo de entrenamiento* E_{ta} , que se considerará compuesto inicialmente por la asignación de recursos para adquirir competencias en el número de áreas de proceso N_{PA} que se implementarán para cada nivel de madurez objetivo. Este entrenamiento es vital para que la organización esté nivelada sobre los objetivos que se persiguen, los instrumentos de proceso que deben ser utilizados y el marco organizacional que será desplegado. El mismo es requerido de acuerdo al nivel SEI-CMMI™ que se quiera alcanzar. La magnitud del esfuerzo involucrado se supone, a-priori, que estará vinculado con el N_{PA} según una relación como:

$$E_{ta} = \alpha_{ta} \times N \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + \beta_{ta} \quad \text{Ec 18}$$

Donde α_{ta} será el esfuerzo de entrenamiento por miembro del staff por área de proceso, y β_{ta} los esfuerzos fijos de dictado y gestión del entrenamiento organizacional.

Nivel SEI-CMMI™	Áreas de Proceso (N_{PA})
2	7
3	14
4	2
5	2

Tabla 4-1 Áreas de Proceso por nivel de madurez SEI-CMMI [SEI2009]

N_{PA} será el total acumulado hasta el nivel SEI-CMMI™ que se desea obtener, según muestra la Tabla 4-1, puesto que la evaluación en cualquier nivel de madurez involucra el análisis de las capacidades correspondientes a todos los anteriores. Se asume en este planteo que todos los miembros de la organización recibirán entrenamiento en las competencias para todas las PAs del

modelo.

Por otra parte, deberá aplicarse un *esfuerzo en preparación de entrenamiento* α_{tp} , el que se conjetura estará relacionado con la cantidad de áreas de proceso a entrenar junto con una parte fija organizacional de gestión del entrenamiento β_{tp} , por lo que:

$$E_{tp} = \alpha_{tp} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + \beta_{tp} \quad \text{Ec 19}$$

El esfuerzo total de entrenamiento E_{tot} estará dado entonces por la suma de Ec 18 y Ec 19, resultando en la expresión dada por:

$$E_{tot} = E_{ta} + E_{tp} = (\alpha_{ta} \times N + \alpha_{tp}) \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + (\beta_{ta} + \beta_{tp}) \quad \text{Ec 20}$$

4.4.3. Costo total de implementación

Es conveniente consolidar los factores previos en el *esfuerzo total de implementación de la iniciativa SPI* E_{sepg} , combinando las expresiones de las Ec 17 y Ec 20. Al hacerlo, se obtiene una sola expresión a los efectos del modelado, representada por:

$$E_{sepg} = E_d + E_{tot} = N \times (\alpha_d + \alpha_{ta} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}]) + \alpha_{tp} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + \beta_d + \beta_{ta} + \beta_{tp} \quad \text{Ec 21}$$

O en una forma incluso más compacta la formulación

$$E_{sepg} = E_d + E_{tot} = N \times (\alpha_d + \alpha_{ta} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}]) + \alpha_{tp} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + \beta_{sepg} \quad \text{Ec 22}$$

Donde el factor β_{sepg} resume los costos fijos organizacionales de despliegue e institucionalización. Tal como se vio en la sección anterior, se pasará de una magnitud de esfuerzo a una de costo utilizando para ello el CPE previamente definido, entonces:

$$C_{sepg} = CPE \times E_{sepg} \quad \text{Ec 23}$$

Y por lo tanto

$$C_{sepg} = CPE \times [N \times (\alpha_d + \alpha_{ta} \times N_{PA}) + \alpha_{tp} \times N_{PA} [CMMI_{objetivo}] + \beta_{sepg}] \quad \text{Ec 24}$$

Con esta expresión se formula entonces las siguientes hipótesis:

Hipotesis I: El tamaño de la organización explica una porción significativa del esfuerzo y tiempo de implementación de SPI en esa organización.

Hipotesis II: El nivel SEI-CMMI™ que la organización decida alcanzar explica una porción significativa del esfuerzo de implementación SPI en esa organización.

4.4.4. Costo de evaluación

La evaluación formal del estado de madurez alcanzado implica transitar por un conjunto de evaluaciones informales, seguidas de una o más evaluaciones formales bajo el marco de requerimientos de evaluación *Appraisal Requirements for CMMI (ARC)*.

Distintas referencias bibliográficas, tales como el SEI y otros autores revisados en el Capítulo 2 proporcionan un marco de estimación para este *costo de evaluación* C_a , que típicamente consistirá en erogaciones fijas e independientes del tamaño de la organización y hasta cierto punto del nivel evaluado, consistentes en honorarios y gastos asociados al equipo de evaluación.

La experiencia indica que esta erogación es aproximadamente independiente de las características de la organización evaluada o el proceso que ha sido desplegado. Esto se puede explicar teniendo en cuenta que los criterios a revisar son fijos y definidos por la metodología, y el número de proyectos incluidos en la evaluación es aproximadamente el mismo independientemente del tamaño de la organización.

La preparación para la evaluación puede asimilarse como parte del esfuerzo de despliegue y entrenamiento. Los eventos de evaluación duran aproximadamente lo mismo, involucran igual número de revisores y revisan un número similar de proyectos, por lo que no hay dependencias visibles significativas que varíen su costo con el tamaño de la organización revisada.

Por otra parte, los evaluadores participantes son usualmente expertos certificados cuyo costo es similar globalmente.

Se asumirá en el modelo que el costo de evaluación se desembolsa aproximadamente cuando se completa la implementación y se evalúa la organización. Esta simplificación tiene sentido en la práctica, cuando el mayor costo incurrido es el proceso SCAMPI final o de tipo “A”.

4.4.5. Costo de mantenimiento

Una vez desplegado el proceso y evaluado, presumiblemente en forma satisfactoria, es necesario mantener parte de la infraestructura utilizada para la implantación inicial, de forma que permanezca adaptada a los objetivos de la organización, los aprendizajes organizacionales obtenidos con su uso y la adopción de nuevas tecnologías. Este *esfuerzo de mantenimiento de procesos* E_{mant} estará definido por la asignación de esfuerzo por parte del personal de desarrollo α_{mant} , N el tamaño de la organización de desarrollo y el esfuerzo fijo organizacional β_{mant} , que consiste mayormente en la infraestructura SEPG necesaria, según se puede observar:

$$E_{mant} = \alpha_{mant} \times N + \beta_{mant} \quad \text{Ec 25}$$

Dado que la estructura conceptual de este costo es similar al caso de despliegue, sólo que usualmente de menor magnitud, la expresión que refleja el *costo de mantenimiento de procesos*

C_{mant} estará dada por:

$$C_{mant} = CPE \times [\alpha_{mant} \times N + \beta_{mant}] \quad \text{Ec 26}$$

Si bien podría plantearse una hipótesis de investigación para establecer los valores para este factor, la discusión posterior de los beneficios que obtiene la organización proveerá elementos que harán innecesario tratar este costo en forma separada (ver la sección 4.5.1).

4.4.6. Expresión financiera del costo de SPI

Los costos evaluados en secciones anteriores son la expresión económica del caso de inversión en SPI, pero no incluyen consideraciones de tiempo ni riesgo. Para ello, es preciso establecer la línea de tiempos en que ocurrirán y realizar el descuento de los flujos al costo de oportunidad que fuera seleccionado por la organización.

La técnica de descuento produce un flujo de fondos idealizado llamado *valor presente* VP, el cual está normalizado en tiempo y riesgo al comienzo de la inversión ($t=0$). Una vez que se dispone de todos los montos de VP de todos los flujos a considerar, el valor presente neto se computa simplemente mediante su suma algebraica. Para distinguir flujos de egreso de flujos de ingreso de fondos, por convención, se asignan valores negativos a los primeros y positivos a los segundos. Se considera viable una inversión cuyo valor presente neto es mayor que cero.

Tomando los flujos de egreso de fondos durante el despliegue y evaluación, tendremos entonces que el costo total de SPI, C_{spi} , expresado como valor presente vendrá dado por:

$$VP(C_{spi}) = VP(C_{sepg}) + VP(C_a) \quad \text{Ec 27}$$

El costo de evaluación estará concentrado mayormente hacia el fin del proceso de despliegue. La experiencia indica que la evaluación más onerosa es justamente el SCAMPI-A. Por otra parte, los procesos de evaluación anteriores (SCAMPI-B) son menos importantes y se realizan relativamente próximos a la evaluación final, por lo que puede despreciarse la fluctuación en el análisis financiero. No todas las organizaciones realizan evaluaciones tipo SCAMPI-C, o las realizan en forma interna con erogaciones muy inferiores a las anteriores, por lo que su costo se considera absorbido en los costos de despliegue.

Podremos entonces obtener el VP del costo de evaluación asumiendo que es un flujo de fondos que ocurre al momento de la implementación, es decir en el periodo correspondiente al *tiempo de implementación* t_{spi} , y que la organización define el costo de oportunidad que considera relevante al riesgo del proyecto para realizar el descuento. El resultado será:

$$VP(C_a) = \frac{C_a}{(1+r)^{t_{spi}}} \quad \text{Ec 28}$$

Para obtener el valor presente del costo de despliegue consideraremos que éste se encontrará

distribuido durante la totalidad del tiempo de implementación, y sus flujos responderán a una función que dependerá de la metodología adoptada por la organización para hacer el despliegue.

Para una función de costos arbitraria, el valor presente estará determinado por la *función de valor continua* $C_{sepg}(t)$ integrada durante el periodo de interés. Este cálculo recibe el nombre de *función continua del valor*, y es expresada mediante:

$$VP(C_{sepg}) = \int_0^{t_{spi}} C_{sepg}(t) \times e^{-\delta t} dt \quad \text{Ec 29}$$

Donde el *costo de oportunidad instantáneo* δ se relaciona con el costo de oportunidad mediante la expresión:

$$\delta = Ln(1+r) \quad \text{Ec 30}$$

Es probable que cada organización conozca su propia función de erogación planeada, pero es necesario adoptar algunas simplificaciones en esta representación a los efectos de mantener genérico al modelo. La experiencia demuestra que los esfuerzos de mejora de proceso son conducidos como proyectos en si mismos, enfoque confirmado por Ruiz de Mendarozqueta [RuizdeMendarozqueta2007] como utilizado exitosamente en Argentina. El patrón de utilización de recursos típico en un proyecto se corresponde con una burbuja de recursos sesgada hacia el final del mismo, tal como resulta aproximada por las ecuaciones de *Putman-Norden-Rayleigh* [Putman1978] o el modelo de *Parr* [Parr1980].

Se toma como simplificación que los esfuerzos se aplican en forma homogénea durante el período de implementación. Esto será una postura conservadora, puesto que usando esta premisa los flujos iniciales contribuirán en mayor medida que los finales a reducir el valor presente, y por tanto, deteriorarán el valor con mayor velocidad. Esta simplificación conduce a un caso un poco más pesimista que el que se obtendría al considerar exactamente el perfil de gastos realizado. De esta manera se actúa con cierta cautela en la estimación y al mismo tiempo se simplifica el modelo haciéndolo más general.

Operando sobre esta aproximación, se transforma la expresión continua del valor dada por la Ec 28 en la expresión discreta del valor presente del costo de implementación (C_{sepg}):

$$VP(C_{sepg}) = \sum_{t=0}^{t_{spi}} \frac{C_{sepg}}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 31}$$

El costo de los recursos asignados al despliegue e institucionalización se devengan, por conveniencia, con una frecuencia mensual en cada sub-período t del ciclo de implementación. Es probable que matemáticamente se pudieran expresar flujos instantáneos, pero habrían muy pocas organizaciones que con los sistemas de gestión capaces de medirlos. Al mismo tiempo, el costo de oportunidad se expresa usualmente en términos de una tasa efectiva anual r_{TEA} , por lo cual debe ser

adecuado a una tasa mensual efectiva por medio de:

$$r = \sqrt[12]{(1 + r_{TEA})} - 1 \quad \text{Ec 32}$$

Dado que C_{sepg} es constante la Ec 31 puede entonces ser expresada nuevamente como:

$$VP(C_{sepg}) = C_{sepg} \times \sum_{t=0}^{t_{spi}} \frac{1}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 33}$$

Finalmente, sumando las Ec 28 y Ec 33 se obtiene la Ec 34, que representa el valor presente del costo total de SPI.

$$VP(C_{spi}) = \left[CPE \times [N \times (\alpha_d + \alpha_{ta} \times N_{PA}) + \alpha_{tp} \times N_{PA} + \beta_{sepg}] \times \sum_{t=0}^{t_{spi}} \frac{1}{(1+r)^t} \right] + \frac{C_a}{(1+r)^{t_{spi}}}$$

Ec 34

Donde N_{PA} dependerá del nivel CMMI objetivo que se está persiguiendo.

4.5. Ingresos por SPI

Los ingresos que justifican la inversión SPI serán todos aquellos flujos de fondos obtenidos y que no hubieran existido sin ella. Dado que las inversiones son realizadas por empresas en funcionamiento, es necesario marginalizar estos beneficios de los que la organización hubiera obtenido de todas formas.

Del relevamiento de la literatura y experiencia en despliegue de procesos SPI, se concluye que los beneficios son derivados de menores costos por *mejora de performance* de la organización, *menor incertidumbre en resultados* de activos subyacentes al desarrollo de software e *ingresos adicionales* que la organización obtiene a partir de la mayor competitividad que le confiere la madurez más alta. La compañía tendrá también *beneficios intangibles* que, como fue discutido previamente, deberían ser considerados si éstos son consecuencia directa del proceso SPI.

Dado que es improbable que una organización cambie significativamente su oferta de servicios al ser evaluado exitosamente su proceso, y teniendo en cuenta que la competitividad en el mercado de TI tiene fuertes dependencias con la combinación precio y calidad, se asumirá que no variará significativamente el *costo por ingeniero* luego de la evaluación. Esto implica que los mayores ingresos que pudieran ser obtenidos deberán provenir del crecimiento de la organización.

4.5.1. Mejoras de performance

La literatura refleja que las mejoras en performance son el principal resultado percibido por la organización de su inversión en SPI, y en ocasiones el único. Se ha visto en capítulos anteriores

que diferentes autores se concentran en mejoras sobre distintos aspectos de esfuerzo de desarrollo.

En algunos casos, se propone que el principal resultado es una mejora en el ciclo de desarrollo o el tiempo que se tarda en desarrollar el producto. Se asume que, además de los beneficios derivados de la mejor gestión de la oportunidad y satisfacción de clientes, esto resultará en menores costos para la organización que pueda lograrlo. Esta mejora tiene la hipótesis implícita de lograr igual producto con menos tiempo (recursos aplicados), y por lo tanto una ventaja en costos.

En otros casos se propone que el principal resultado es la mejora en la performance de inyección y remoción de defectos, de tal manera que la organización invierte menos esfuerzo en asegurar la calidad y, en particular, en esfuerzo de retrabajo. Nuevamente, esto derivará en menores costos, pues la hipótesis implícita es que la empresa puede entregar igual producto con menos recursos.

De hecho, se podría modelar conceptualmente usando un modelo PNR o Parr que ambos efectos son dos caras de la misma moneda. La reducción en los defectos conduce, a igualdad de todos los otros factores, a una reducción en el ciclo de desarrollo.

De la literatura se rescata la propuesta de Clark [Clark1997,Clark2000], que demuestra un vínculo entre reducciones de esfuerzo en el desarrollo a igual tamaño del desarrollo con el aumento del nivel SEI-CMMI™.

Aplicando esta relación, la organización experimentará una *reducción de esfuerzo* E_{Δ} de todos sus participantes para realizar las mismas actividades, lo que se puede modelar como:

$$E_{\Delta} = \alpha_{prod} \times N + \beta_{prod} \quad \text{Ec 35}$$

Donde α_{prod} es la reducción de esfuerzo individual producto de la mejora de proceso y β_{prod} la reducción de esfuerzos organizacionales fijos.

Al mismo tiempo, se ha identificado en la sección 4.4.5 la necesidad de realizar mantenimiento, que requiere un esfuerzo dado por la Ec 25. Considerando el efecto neto con la Ec 35 anterior, se puede expresar el esfuerzo neto ganado por productividad E_{prod} tal como lo expresa:

$$E_{prod} = E_{\Delta} - E_{mant} \quad \text{Ec 36}$$

Reemplazando términos a partir de las Ec 25 y Ec 35 se obtiene:

$$E_{prod} = (\alpha_{prod} - \alpha_{mant}) \times N + (\beta_{prod} - \beta_{mant}) \quad \text{Ec 37}$$

Clark establece una reducción de esfuerzo por cada nivel de madurez adicional alcanzado por la organización, operando a tamaño de producción constante. Esto se traduce en un *incremento de productividad* K_{prod} por nivel SEI-CMMI™ experimentado por toda la organización, según la expresión dada por:

$$E_{prod} = K_{prod} \times N \times \Delta \quad \text{Ec 38}$$

Donde se expresa el esfuerzo en función del número de niveles SEI-CMMI™ Δ que se planea mejorar y el tamaño de la organización N . Este planteo asume que la reducción de esfuerzo por nivel se mantiene aproximadamente constante, lo que será validado posteriormente. Entonces, combinando expresiones, se puede asimilar las constantes de proporcionalidad según las siguientes relaciones

$$(\alpha_{prod} - \alpha_{mant}) \cong \Delta \times K_{prod} \quad \text{Ec 39.}$$

y

$$(\beta_{prod} - \beta_{mant}) \cong 0 \quad \text{Ec 40}$$

Por lo que la reducción del esfuerzo E_{prod} puede ser escrito para distintos niveles SEI-CMMI™ como:

$$E_{prod} = K_{prod} \times N \times \Delta \quad \text{Ec 41}$$

Este esfuerzo en realidad no es insumido por la organización, lo que financieramente es equivalente a haberlo ganado, por lo tanto se considerará un ingreso. Para expresarlo como un monto se lo multiplica por el costo por ingeniero previamente definido:

$$I_{prod} = K_{prod} \times \Delta \times N \times CPE \quad \text{Ec 42}$$

Esta expresión refleja la mejora de productividad neta, que considera las actividades necesarias para ejecutar el proceso con todos los requisitos para alcanzar los objetivos del modelo de referencia para las áreas de proceso involucradas.

La experiencia indica que es improbable que una organización aborde un esfuerzo de mejora que no la haga transitar primero por un estadio de madurez inicial (SEI-CMMI™ Nivel 2 o 3), para alcanzar posteriormente niveles de alta madurez (SEI-CMMI™ Nivel 4 o 5).

Al efecto del modelado, este ingreso se considera como devengado a partir del *tiempo de implementación* t_{spi} y hasta el *horizonte de inversión* t_p admitido por la organización, por lo que la expresión del valor presente de los flujos de ingresos que producirá la mejora de performance estarán dados por:

$$VP(I_{prod}) = K_{prod} \times \Delta \times N \times CPE \times \sum_{t=t_{spi}}^{t_p} \frac{1}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 43}$$

Donde la tasa mensual efectiva de oportunidad r es la previamente discutida en la sección 4.4.6, en la Ec 32. De acuerdo a las convenciones adoptadas, este flujo de fondos será entrante y por lo tanto positivo.

4.5.1.1 Corrección por riesgo de evaluación

Como se ha discutido previamente, la organización realizará evaluaciones progresivas

diseñadas por el marco dado por SEI-CMMI™ como modelo de referencia, de forma de validar su progreso. Eventualmente, realizará la evaluación final SCAMPI-A donde, en caso de éxito, el nivel de madurez es asignado por un equipo revisor independiente apropiadamente certificado al efecto.

Estos pasos minimizan el riesgo que el nivel objetivo final no sea alcanzado, pero aún así existe una probabilidad no nula que así sea.

Debido a ello, es necesario corregir los ingresos de forma que refleje la esperanza que ocurran. Se requiere modificar la ecuación Ec 42, transformándola en la esperanza del ingreso dada por:

$$I_{prod} = \xi[CMMI_{objetivo}] \times K_{prod} \times N \times \Delta \times CPE \quad \text{Ec 44}$$

Se conjetura que la *probabilidad de evaluación exitosa* ξ dependerá del nivel SEI-CMMI™ objetivo. Es razonable suponer que en la medida que la madurez de la organización progrese también mejorará su capacidad de auto evaluación, de forma tal de no realizar eventos formales si no está razonablemente segura de que serán exitosas. En el Capítulo 6 se retomará esta cuestión en oportunidad de adoptar posibles valores para este factor.

Este modelo tomará como hipótesis razonable, sujeta a validación en trabajos futuros, que las organizaciones que fallan en sus procesos de evaluación formal están capturadas por este factor de incertidumbre mientras que las fallas en revisiones preliminares esencialmente actúan como detractores del *tiempo de implementación* t_{spi} y el *esfuerzo de implementación* E_{spi} , los que son a su vez capturados por otras vías.

El VP de las mejoras de performance afectadas por esta consideración serán entonces dadas por:

$$VP(I_{prod}) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times K_{prod} \times N \times \Delta \times CPE \times \sum_{t=t_i}^{t_p} \frac{1}{(1+r)^t} \quad \text{Ec 45}$$

El riesgo que tiene el éxito en la evaluación será estimado posteriormente en base a datos disponibles de la industria. En las conclusiones de este capítulo se discutirán algunas particularidades que tiene su obtención.

4.5.1.2 Corrección por tamaño de organización

La inversión en SPI puede derivar en un crecimiento significativo del tamaño de la organización. Lo cual implica, usualmente, más personal. El nuevo personal ingresado utilizará las prácticas e instrumentos creados por la inversión en SPI, y es razonable esperar que esto produzca una mejora en la productividad equivalente a la que ya tiene el resto del personal de desarrollo.

Se asume que la empresa tendrá a una *tasa promedio mensual de crecimiento* g en su personal. Para considerarla, los ingresos pronosticados por la Ec 44 deben ser incrementados en cada período t , comenzado desde la finalización del despliegue de las mejoras del proceso, en $t=t_{spi}$,

hasta el horizonte de inversión t_p . Esto da lugar a la Ec 46, donde el factor g debe estar expresado en una escala temporal consistente. La relación resultante es mostrada a continuación y será válida para $t \geq t_{spi}$:

$$I_{prod} = \xi[CMMI_{objetivo}] \times (1+g)^{t-t_{spi}} \times K_{prod} \times N \times \Delta \times CPE \quad \text{Ec 46}$$

Este flujo opera en forma curiosa, ya que en realidad es un gasto que no se hace. Debido a ello, opera financieramente como si fuera un ingreso.

La estimación es cautelosa en realidad, ya que si bien captura la productividad del nuevo personal, no incluye el valor adicional implícito en la opción de poder decidir el crecimiento. Este factor es complejo de incorporar, puesto que habría que asumir cuál es la participación del esfuerzo SPI en la existencia de dicha opción.

Por otra parte, no es razonable asumir que el nuevo personal estará inmediatamente preparado en los procesos necesarios para obtener la mejora de productividad. La experiencia indica que se precisa de 2 a 8 semanas de entrenamiento por cada ingeniero incorporado para que sea productivo. Aún así, la merma en productividad derivada del aprendizaje se asume como pequeña y no se tiene en cuenta en el modelado, actuando como compensación de las otras fuentes de valor no consideradas.

El VP de las mejoras de performance afectadas por esta suposición será entonces dado por:

$$VP(I_{prod}) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times K_{prod} \times N \times \Delta \times CPE \times \sum_{t=t_{spi}}^{t_p} \frac{(1+g)^{t-t_{spi}}}{(1+r)^{t-t_{spi}}}$$

Ec 47

Se formulan además las siguientes hipótesis

Hipotesis III: **La inversión en SPI produce mejoras en los plazos de entrega de la organización.**

Hipotesis IV: **La inversión en SPI produce mejoras en los costos de desarrollo.**

Hipotesis V: **La inversión en SPI produce mejoras en la productividad de desarrollo.**

4.5.2. Ingresos adicionales

El incremento del staff de la organización puede estar adjudicado a muchos factores. La experiencia indica que las organizaciones tienden a crecer significativamente luego de incrementar el nivel de madurez de sus procesos, y esto es sustentado por la literatura revisada. En la sección 4.5.1.2, se consideró el beneficio obtenido debido a la mejor productividad del personal que ingresa al crecer la organización. Sin embargo, si el crecimiento mismo es resultado de la inversión en SPI,

también deberá ser considerado un beneficio en el caso de inversión.

Para simplificar la representación el modelo incorporará un *ingreso por crecimiento* I_g que corresponderá al valor presente, calculado al momento de la implementación, de todos los ingresos futuros por este concepto hasta el horizonte de inversión.

Es debatible asociar directamente una dada magnitud de crecimiento solamente a la inversión SPI dado que son muchas las formas, directas e indirectas, en que puede contribuir. Para aplicar un criterio cauto, el modelo permitirá a cada organización incorporar qué crecimiento adjudicará directamente a la realización de la inversión en SPI.

Es difícil estimar cuál es la contribución marginal de cada persona nueva agregada por la organización. Para hacerlo habría que incorporar al modelo conceptos de margen bruto proyectado así como estrategias de precios. Estos agregados le restarían generalidad y lo complicarían significativamente.

Una forma de incluir este factor en el modelo sin incorporar su compleja red de hipótesis, consiste en definir que cualquiera sea el perfil de ingresos originados en la inversión en SPI puede ser representado por un flujo de fondos arbitrario cuyo valor presente I_g se calcula al momento de la implementación.

Por lo tanto, el valor presente de los ingresos adicionales al comienzo del proyecto ($t=0$), asumiendo una tasa de descuento r , será entonces dado por:

$$VP(I_g) = \frac{I_g}{(1+r)^{t_{spi}}} \quad \text{Ec 48}$$

Siguiendo el criterio utilizado en los ingresos descriptos anteriormente se adopta la premisa que los ingresos no se producirán si la evaluación de madurez no es satisfactoria, por lo tanto el ingreso deberá ser afectado por la probabilidad de éxito de evaluación según lo definido en la sección 4.5.1.1 y mostrado en:

$$VP(I_g) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times \frac{I_g}{(1+r)^{t_{spi}}}$$

Ec 49

Se formula además la siguiente hipótesis de trabajo:

Hipotesis VI: La inversión en SPI mejora los ingresos de la organización.

4.5.3. Menor incertidumbre en los resultados

La literatura y la experiencia muestran consistentemente que aquellas empresas que han sido evaluadas en niveles progresivamente mayores del modelo SEI CMMI TM mejoran su performance y, por lo tanto, reducen la incertidumbre en sus costos y plazos de entrega. Esta reducción se traduce en que la organización ejecuta su operación a un riesgo menor comparado con el de otra firma de menor nivel de madurez que opera con márgenes de incertidumbre mayores.

Se discutió previamente que el costo de oportunidad r al que la organización descuenta sus flujos de fondos se puede descomponer en el *premio por tiempo* o *tasa libre de riesgo* r_f y el *premio por riesgo* Φ , según la expresión ya vista en la Ec 4.

Si se cambia el proceso que la organización utiliza y por ello opera con un riesgo menor, es razonable esperar la reducción de su costo de oportunidad para tener en cuenta el nuevo nivel de riesgo. Al hacerlo, deberá adoptar un *costo de oportunidad corregido* r' que tenga en cuenta esa reducción. Se expresa esta nueva tasa mediante la Ec 50 propuesta por Harrison [Harrison2001a]

$$r' = r_f + \lambda \times (r - r_f) \quad \text{Ec 50}$$

En esta expresión, el factor *reducción del premio por riesgo* λ ajusta la operación a un nivel de incertidumbre diferente al considerado para el costo de oportunidad de partida. Puede observarse que este factor se aplica sólo sobre el término de *premio por riesgo*.

Harrison también recomienda calcular el factor λ a partir de los resultados relativos entre dos estados de aplicación de proceso (inicial y final), utilizando la expresión aproximada dada por:

$$\lambda = \frac{\sigma_0}{\mu_0} \times \frac{\mu_i}{\sigma_i} \quad \text{Ec 51}$$

Donde el par μ_i y σ_i representan la media y varianza de una variable de interés, en este caso el costo, en un estado de implementación de proceso y el par μ_0 y σ_0 en un estado posterior. Si la implementación del proceso hace que la dispersión en el resultado sea menor, habrá menor incertidumbre en obtenerlo, por lo que será menos riesgoso. Cuando esto ocurre, el factor toma valores menores que uno ($\lambda < 1$). En la Ec 50 puede observarse que, en esta condición, el costo de oportunidad debe reducirse como reflejo del menor riesgo.

En términos del valor de la inversión, si aumenta el costo de la oportunidad los flujos se descuentan más fuertemente, por lo que su VP se reduce. Dado que se ha conceptualizado el VP como el valor del flujo normalizado de los premios por tiempo y riesgo del capital, el aumento del costo de oportunidad puede ser asociado a *destrucción de valor*.

Por el contrario, si se reduce la incertidumbre debe disminuir en forma acorde el premio por riesgo, lo que se traduce en una disminución del costo de oportunidad. Cuando el valor presente de los flujos descontados se incrementa, se produce un efecto asimilable a la *creación de valor*.

La inversión en SPI reducirá entonces la variación en los resultados de la organización en su

operación normal, y por lo tanto su incertidumbre, lo que reduce también el riesgo, incrementando el valor de los ingresos percibidos. La creación de valor que se produce por esta modificación es directamente atribuible a la iniciativa SPI y, por lo tanto, es legítimo incorporarla como parte del caso de negocio que se está modelando.

Para empezar, los valores presentes identificados en las secciones anteriores (ver secciones 4.5.1 y 4.5.2) deben ser descontados a un nuevo costo de oportunidad r' , que puede obtenerse a partir de las Ec 4 y Ec 50.

$$r' = r + \Delta r \quad \text{Ec 52}$$

Y

$$\Delta r = r' - r \quad \text{Ec 53}$$

Por transformación algebraica de términos, la *variación del costo de oportunidad* Δr estará dada por la expresión:

$$\Delta r = (\lambda - 1) \times (r - r_f) \quad \text{Ec 54}$$

El modelo deberá considerar en los ingresos previamente discutidos la utilización de este costo de oportunidad corregido por lo que las Ec 47 y Ec 49 se transforman en:

$$VP(I_{prod}) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times K_{prod} \times N \times \Delta \times CPE \times \sum_{t=t_{spi}}^{t_p} \frac{(1+g)^{t-t_{spi}}}{(1+r')^{t-t_{spi}}} \quad \text{Ec 55}$$

$$VP(I_g) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times N \times CPE \times \sum_{t=t_{spi}}^{t_p} \frac{[(1+g)^{t-t_{spi}} - 1]}{(1+r')^{t-t_{spi}}} \quad \text{Ec 56}$$

La tasa de descuento efectiva mensual ajustada r' es calculada como:

$$r' = r_f + \lambda \times (r - r_f) \quad \text{Ec 57}$$

Al aplicar el costo de oportunidad modificado los flujos de fondos serán ligeramente superiores, la diferencia podrá ser considerada legítimamente como resultado de la inversión en SPI.

Sin embargo, hay otra situación que resulta beneficiada por la mejora del perfil de riesgo y es la generada por los activos subyacentes al desarrollo de software que estarán sujetos a menor incertidumbre y, por lo tanto, deberían descontarse también con el costo de oportunidad reducido (situación discutida previamente en Capítulo 2 Sección 2.7.4.3).

El perfil de ingresos que pudieran generar los activos subyacentes, en caso de existir, puede ser arbitrario y sus características afectadas por un número realmente grande de factores que dependerán de su naturaleza, los negocios en los que participan y las organizaciones que los poseen.

Sin embargo, no es necesario saber para este modelado en qué consisten, sino solamente que existen y que su realización depende de un desarrollo de software, sin el cual no se alcanzan.

Se supone conocida la *función continua de ingresos* $I_{as}(t)$ que representa los flujos que

producirá el activo subyacente, cuya construcción es perseguida por la organización al desarrollar software. Con técnicas de análisis financiero es posible calcular el VP de esos ingresos al momento del despliegue de las iniciativas SPI en el periodo t_{spi} . Por conveniencia, se representa este VP como igual al que daría una sucesión a perpetuidad de *flujos de ingresos mensuales equivalentes* I_x descontados al costo de oportunidad efectivo mensual dado por la Ec 32. según lo muestra la siguiente expresión:

$$VP(I_{as}) = \frac{I_x}{r} \quad \text{Ec 58}$$

El artificio de reemplazar un flujo de fondos por otro es sólo por conveniencia, pues permite expresar la función de ingresos en una forma más compacta, y por otra parte dos flujos de fondos arbitrarios son indistinguibles a igual riesgo si su valor presente es el mismo.

Al modificar la tasa de corte por efecto de la mayor madurez, la perpetuidad adquirirá más valor y se transformará en:

$$VP(I_{as})' = \frac{I_x}{r'} \quad \text{Ec 59}$$

La diferencia de valor en el activo subyacente (ΔI) estará dada por:

$$\Delta I = VP(I_{as})' - VP(I_{as}) \quad \text{Ec 60}$$

Y ahora reemplazando términos en la Ec 60 con las Ec 58 y Ec 59 se obtiene:

$$\Delta I = I_x \times \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r} \right) \quad \text{Ec 61}$$

Este valor está expresado como un VP pero en el periodo t_{spi} , es decir, a la finalización del despliegue en SPI. Para normalizarlo con el resto de los VPs habrá que descontar este resultado según:

$$VP(\Delta I) = I_x \times \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r} \right) \times \frac{1}{(1+r)^{t_{spi}}} \quad \text{Ec 62}$$

Como en los ingresos anteriores, estos beneficios se suponen no devengados excepto que la firma logre exitosamente ser evaluada en el nivel de madurez objetivo, por lo que se introduce la misma corrección por la probabilidad de éxito de la evaluación que en casos anteriores para obtener:

$$VP(\Delta I) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times I_x \times \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r} \right) \times \frac{1}{(1+r)^{t_{spi}}} \quad \text{Ec 63}$$

Finalmente, se expresará por conveniencia el flujo de ingresos mensuales equivalentes en función de un *factor de retorno* (I_{FV}) relacionado con el CPE mediante la expresión:

$$I_x = I_{FV} \times CPE \quad \text{Ec 64}$$

Reemplazando términos, finalmente quedará la expresión dada por:

$$VP(\Delta I) = \xi[CMMI_{objetivo}] \times I_{FV} \times CPE \times \left(\frac{1}{r'} - \frac{1}{r} \right) \times \frac{1}{(1+r)^{tspi}}$$

Ec 65

Este flujo de fondos que se expresó mediante técnicas de matemática financiera en el momento de implementación deberá ser descontado al costo de oportunidad r para expresarse al comienzo del proyecto.

Se formula, además, la siguiente hipótesis de investigación:

Hipotesis VII: **La inversión en SPI mejora la certidumbre de los resultados.**

4.5.4. Beneficios intangibles

Por su misma naturaleza, los beneficios intangibles no son pasibles de ser incorporados en un modelado de corte económico-financiero. Sin embargo, la literatura refleja que las firmas son claramente dependientes de algunos de ellos para su supervivencia. En particular si la compañía pertenece al segmento de PyMEs. Distintos factores como imagen organizacional, satisfacción del cliente o de los empleados pueden ser decisivos para que la organización pueda sustentar su posición competitiva, sin la cual ninguno de los otros beneficios puede ser realizado.

Desde el punto de vista del análisis financiero, cualquier razón que motive a una compañía a entregar mejores resultados o a consolidarse competitivamente debería lograr que la operación de la compañía sea menos riesgosa y, por lo tanto, pueda descontar sus flujos futuros a un costo de oportunidad menor. Se analizó en las secciones anteriores cómo la variación del costo de oportunidad puede afectar los ingresos y se tuvo en cuenta su inclusión en el modelo conceptual.

Para completar el análisis, debería obtenerse una razonable certeza que efectivamente la inversión SPI producirá movimientos en la dirección correcta de mejora de uno o más de los factores intangibles, transformándose así en un beneficio.

Para ello, se conjetura que la inversión en SPI produce resultados de mejora en la imagen organizacional, la satisfacción de clientes y empleados así como una mejora en la certidumbre de la organización en alcanzar sus resultados. Se formulan entonces las siguientes hipótesis de trabajo

Hipotesis VIII: **La inversión en SPI mejora la imagen organizacional.**

Hipotesis IX: **La inversión en SPI mejora la satisfacción de clientes.**

Hipotesis X: **La inversión en SPI mejora la satisfacción de empleados.**

4.5.5. Ingresos totales por SPI

Combinando las ecuaciones Ec 47, Ec 49 y Ec 65 y simplificando términos, se obtiene la expresión del valor presente de los ingresos de la inversión en SPI I_{spi} , el cual es expresado por:

$$VP(I_{spi}) = VP(I_{prod}) + VP(I_g) + VP(\Delta I)$$

Ec 66

4.6. Costo de oportunidad

En las secciones precedentes, el costo de oportunidad fue introducido y utilizado con cierta libertad, asumiéndolo como un factor conocido. También se analizaron las razones que pueden motivar su variación y qué factores la impulsan.

En cualquier modelado de inversión basado en consideraciones económico-financieras, el costo de oportunidad debe ser tenido en cuenta pues es el instrumento que le permite a la organización entender qué inversión es la que amerita recibir, en un momento dado, los siempre escasos recursos.

Por otra parte, es necesario comprender si la organización define el costo de oportunidad que debe aplicar a los proyectos o si éste es definido en forma externa; ¿Se trata de una variable independiente o de un parámetro?

El costo de oportunidad se define como el rendimiento que puede producir la mejor aplicación alternativa para los recursos de una inversión [Brealey2000] y es una decisión organizacional. Algunas organizaciones establecen como piso para este valor el rendimiento de su *apalancamiento* en deuda, esto es, a qué tasa consigue dinero en el mercado financiero para hacer una inversión. Este es un criterio que sólo asegura devolver el financiamiento y que quizás sea adecuado para quien presta. Esta tasa esta formada por el contexto macroeconómico en el que opera la organización y en la percepción de riesgo que tenga quien actúe como prestamista.

El costo de oportunidad a ser utilizado tiene una definición mixta, porque una parte es definida externamente a la organización por quien le presta el dinero. Sin embargo, está a su alcance tomar acciones para modificarlo, como por ejemplo adoptar iniciativas para reducir su riesgo de operación, tales como hacer una inversión en SPI bajo un modelo de referencia muy reconocido, como el SEI-CMMI™.

Otras organizaciones establecen como criterio que cualquier inversión tiene que tener un rendimiento igual o mejor que el obtenido en el negocio principal. Si la organización se inclina por este criterio, quizás encontrará más razonable, en caso de disponer de recursos, utilizarlos para hacer crecer su operación actual tal como está antes que invertir en alguna otra actividad para

obtener menos beneficios.

En base a la experiencia de las compañías tecnológicas en general, y la dedicadas al desarrollo de software en particular, tienden a adoptar el criterio de tomar el rendimiento de su *capital propio* (“*equity*”) como parámetro para cualquier inversión que se considere. Es usual encontrar tasas en dólares estadounidenses del orden de 15 a 20% anual como costo de oportunidad en compañías de este segmento. La decisión de exigirle este retorno a cualquier inversión es interna.

Si bien existen mecanismos en los mercados financieros para obtener cuál debería ser el costo de oportunidad de una organización dado el contexto macroeconómico y ciertos parámetros de operación, los mismos sólo se pueden aplicar confiablemente a compañías que cotizan valores públicamente o están considerando hacerlo. Por su parte, este cálculo es manejado por analistas de mercado y no necesariamente por la dirección de las empresas que toma la decisión de invertir en SPI.

Es común, también, que las inversiones no destinadas al negocio principal tengan una exigencia superior, quizás derivada del riesgo de invertir en una actividad que no es el núcleo competitivo de la organización, la cual adopta la forma de esperar resultados en un determinado horizonte de tiempo. Un horizonte más reducido da menos margen a que se acumulen beneficios futuros en el valor presente y por lo tanto exige que los benéficos sean más altos para que el caso de negocios siga siendo atractivo. En la práctica, es equivalente a incrementar el costo de oportunidad y, por lo tanto, asumir que la inversión tiene más riesgo que la operación normal de la compañía.

En función de estas consideraciones, en el modelado se adoptará el criterio que el costo de oportunidad opera como una variable independiente definida por la organización.

4.7. Horizonte de inversión

En la sección anterior, en el contexto de discutir cómo considerar el costo de oportunidad, se vio también cómo la exigencia del horizonte de inversión es una forma de forzar una mitigación de riesgo adicional en el análisis financiero. Es claramente una definición de la organización y, por lo tanto, operará como variable independiente en el modelo. Conceptualmente resta entender si sus valores son arbitrarios o tienen restricciones dadas por la naturaleza de los procesos SPI.

El valor mínimo que puede tener el horizonte de inversión en el caso de SPI es el tiempo que se tarda en desplegar el proceso y que su implementación sea evaluada positivamente. Algunos ingresos pueden ser inmediatos a la evaluación, como por ejemplo, la posibilidad de que la organización crezca significativamente al adquirir un contrato ligado a la evaluación en un determinado nivel de madurez.

Sin embargo, el tiempo de implementación estará dado por la naturaleza del despliegue de la iniciativa SPI y su duración no se puede reducir arbitrariamente por decisión de la dirección de la organización. Existirán plazos de construcción y despliegue de procesos, tiempos de institucionalización e incluso tiempos para que la organización produzca la evidencia que tiene en funcionamiento su proceso de software. Todas estas actividades que serán parte de la evaluación formal presentan cierta inflexibilidad a ser sujetas a reducciones de calendario.

El valor máximo que se puede considerar es tres años posterior a la evaluación positiva en un nivel de madurez dado. Pasado ese tiempo, el SEI determina que la misma pierde vigencia y no se dispone más de ella. Puede argüirse que los ingresos por performance no tienen porqué estar atados a que la acreditación siga vigente. Después de todo, se siguen ejecutando un día después de su vencimiento igual que lo hacían un día antes. Sin embargo, la experiencia indica que las firmas que no están en condiciones de ser reevaluadas, incluso al mismo nivel, son aquellas que por un motivo u otro no han mantenido vigentes sus prácticas desplegadas durante la inversión SPI. En consideración a esto es razonable esperar que la firma deba hacer inversiones subsiguientes cada tres años y, por lo tanto, debería limitar el horizonte de los beneficios a ese límite.

El horizonte de inversión tendrá entonces un intervalo entre t_{spi} y $t_{spi} + 3$ años y dado que t_{spi} oscila según la literatura entre 12 y 24 meses, el horizonte máximo debería considerarse entre 12 a 24 meses como mínimo y 48 a 60 meses como máximo. Dentro de estos márgenes, de alguna manera impuestos por el contexto metodológico de la inversión SPI, la organización puede definir independientemente qué horizonte desea adoptar basado en sus preferencias de riesgo de inversión.

4.8. Variables independientes

El modelado conceptual realizado en las secciones anteriores ha propuesto las siguientes variables independientes del modelo conceptual.

- **Tamaño de la organización (N).** Es la magnitud de la organización que estará involucrada en el despliegue del esfuerzo y sobre la que eventualmente se recuperarán beneficios por mejor performance de desarrollo. La firma define cual es el tamaño que desea tener. Esta magnitud se asume constante durante el esfuerzo de despliegue de la inversión SPI.
- **Nivel SEI-CMMI™ Objetivo (CMMI_{objetivo}).** Cada nivel de madurez objetivo requerirá la implementación de un número creciente (y acumulativo por nivel) de PAs, cada una de ellas con sus objetivos particulares y genéricos. La empresa define qué nivel SEI-CMMI™ se propone como objetivo. En algunas relaciones se utiliza la diferencia de nivel SEI-CMMI™ (Δ), calculada como el número de niveles de diferencia entre el nivel

actual y el objetivo.

- **Horizonte de inversión (t_p).** Es el tiempo máximo que se considerará aceptable para que la inversión pueda ser evaluada como rentable o no rentable.
- **Costo de oportunidad (r).** Es la tasa de descuento que se utilizará para descontar los flujos de fondos.
- **Costo por Ingeniero (CPE).** Es el costo promedio ponderado del personal en la organización, tomando para su cálculo tanto costos directos como asignaciones razonables de costos indirectos (espacio, infraestructura, gerenciamiento, etc.).
- **Crecimiento de la organización (g).** Es el porcentaje de crecimiento promedio que la organización experimentará como resultado de su inversión en SPI y a partir del despliegue de la misma.
- **Ingresos extraordinarios por crecimiento de la organización (I_g).** Es el VP de flujos de ingresos futuros resultado del esfuerzo SPI considerados al momento de la implementación.

4.9. Parámetros

El modelado conceptual presentado en las secciones anteriores ha propuesto los siguientes parámetros.

- **Tasa libre de riesgo (r_f).** Es una construcción financiera que expresa el premio por tiempo en el valor del dinero o coste de capital. Por convención, se toma el rendimiento de los bonos del tesoro de los Estados Unidos a 30 años.
- **Apalancamiento entre activo subyacente y costo por ingeniero (I_{FV}).** Es un coeficiente que intenta medir la magnitud relativa entre el indicador de competitividad de la organización (dado por el CPE) y los flujos equivalentes devengados por los activos subyacentes al desarrollo de software, de forma de poder cuantificar el efecto del apalancamiento.

4.10. Variables dependientes

El modelado conceptual descrito en las secciones anteriores ha propuesto los siguientes variables dependientes.

- **Factor de reducción de riesgo (λ).** Expresa la variación del premio por riesgo que debería considerar el análisis financiero. Está mayormente establecido por la mejora de incertidumbres en plazos y costos, lo que a su vez es definido por el nivel de madurez que la organización decide alcanzar.

- **Factor de incertidumbre de evaluación (ξ).** Expresa la probabilidad que la evaluación formal en un nivel de madurez dado sea exitosa y, por lo tanto, que los ingresos asumidos por la inversión se realicen. Tal como fue discutido, el modelo asume una premisa muy conservadora en cuanto a que no se consideran beneficios si la evaluación no es exitosa.
- **Tiempo de implementación (t_{spi}).** Tiempo necesario para desplegar e institucionalizar los procesos objeto de la inversión SPI, así como para realizar una evaluación formal.
- **Esfuerzo de implementación (E_{spi}).** Esfuerzo necesario para desplegar e institucionalizar los procesos objeto de la inversión SPI, así como para realizar una evaluación formal.
- **Costo de Evaluación (C_a).** Costo estimado de realizar el proceso de evaluación formal.
- **Mejora de Productividad (K_{prod}).** Reducción del esfuerzo para igual producción por cada incremento de nivel de madurez.

4.11. *Modelo conceptual*

Consolidando las definiciones, hipótesis y desarrollos realizados en las secciones previas, es posible dar forma al modelo conceptual que se presenta en este capítulo.

Todos los factores incluidos fueron normalizados como VPs al momento del comienzo de la inversión en SPI. Las “y-pequeñas” del modelo serán, entonces, ingresos por SPI (y_1), egresos por SPI (y_2) y finalmente costo de oportunidad y horizonte de inversión definidos por la organización (y_3 e y_4 respectivamente). El resultado del modelo o “Y-grande” será la suma algebraica de ellas, y se corresponderá conceptualmente con el valor presente neto de la inversión en SPI VPN_{spi} . Resumiendo lo anterior se expresa el VPN_{spi} resultante como combinación de las variables dependientes (pequeñas y) desarrolladas en las secciones anteriores, tal como:

$$VPN_{spi} = y_1 - y_2 \quad \text{Ec 67}$$

Reemplazando términos resultará la expresión final del modelo conceptual

$$VPN_{spi} = VP(I_{spi}) - VP(C_{spi})$$

Ec 68

4.12. *Resumen*

Al desplegar cada componente del modelo conceptual, se fueron esbozando relaciones presentes en la literatura u observables en la experiencia práctica. Casi todos los factores en juego son claros, pero las relaciones entre ellos permiten un grado de ambigüedad muy grande. En ocasiones, el desarrollo se hace notoriamente complejo sólo para tener en cuenta efectos que, en el mejor de los casos, corresponden a 2^{do} o 3^{er} orden de impacto. En esos casos, es preferible

retroceder y preservar un modelo que explique sólo parte de los hechos, pero que pueda ser validado con mayor facilidad. Al mismo tiempo, es perceptible el riesgo de omitir algún factor relevante sólo porque su impacto no es evidente en la bibliografía o en la experiencia práctica.

Simplificar excesivamente sólo proporcionará respuestas limitadas a las preguntas que se le planteen. En el otro extremo, un modelo excesivamente complejo puede hacer impráctica la implementación, aumentar el costo de desarrollo, dificultar la validación o incluso aumentar el error de los resultados debido al agregado de factores adicionales que necesitan ser comprendidos, calibrados y aplicados, para quizás obtener sólo una influencia marginal en los resultados.

Es tentador describir al mundo con relaciones simples, pero la tentación debe ser contrapesada por la validación de su razonabilidad, la que se abordará en capítulos siguientes. Las relaciones simples deben ser además explicaciones plausibles de la realidad. El criterio utilizado fue combinar relaciones claramente observables en la práctica y la literatura, para someterlas a manipulaciones de análisis financiero que consideren los factores de riesgo y tiempo involucrados.

Algunas de las hipótesis tomadas en el dominio de análisis financiero fueron sólo instrumentos de conveniencia para colocar los flujos de fondo en el momento y con la normalización de riesgo que parece más apropiada.

La principal amenaza a la validez del método utilizado para desarrollar el modelo es la introducción de factores que no son intuitivos ni habitualmente usados en la práctica en procesos de decisión. Un ejemplo claro es cómo se compone y varía el costo de oportunidad para cada organización y su relación con el riesgo. La comprensión del riesgo en función de la incertidumbre y la variabilidad de los resultados forman el núcleo del análisis financiero moderno. Sin embargo, pocos directores realizan esta relación, y simplemente aumentan o disminuyen los costos de oportunidad efectivos utilizados en respuesta a su percepción subjetiva del riesgo involucrado. El desafío es ciertamente cómo validar que el costo de oportunidad efectivamente varía con las inversiones SPI y que esto sea aceptado por los decisores que enfrenten la situación, pues de otra forma cualquier construcción de valor que se tenga en cuenta proveniente de este efecto corre el riesgo de no ser aceptada como tal.

Durante las etapas muy tempranas de esta investigación en un intercambio epistolar con Warren Harrison, frecuentemente citado en este trabajo por sus contribuciones de la relación entre el costo de oportunidad y los procesos SPI, se desafió la noción de hasta qué punto las decisiones se toman en función del valor presente neto que muestran los análisis de inversión.

Luego de mucho meditar sobre la cuestión, se llega a la conclusión que la experiencia muestra que rutinariamente se toman decisiones de inversión en ambientes corporativos a partir de evaluar casos con VPN más positivo que otras alternativas. Al mismo tiempo, se realiza

normalmente un cuidadoso juicio de los intangibles intervinientes. En inversiones SPI, esto se dificulta por no existir disponible un marco conceptual que incluya razonablemente los factores a ser considerados para evaluar la inversión.

El objetivo de este trabajo es, justamente, proponer un marco adecuado para ser utilizado durante el proceso de decisión.

El modelo presentado ha sido desarrollado como una integración de conceptos dispersos en la bibliografía, junto con dosis de juicio derivados de la experiencia y la aplicación de técnicas de determinación del valor en condiciones de riesgo. Algunas hipótesis clave han sido expresadas y requerirán ser validadas en los capítulos siguientes. Estas son reflejadas en la Tabla 4-2.

<i>Hipótesis I:</i>	<i>El tamaño de la organización explica una porción significativa del esfuerzo de implementación de SPI en la misma.</i>
<i>Hipótesis II:</i>	<i>El nivel SEI-CMMI™ que la organización decida alcanzar explica una porción significativa del esfuerzo de implementación SPI en la misma.</i>
<i>Hipótesis III:</i>	<i>La inversión en SPI produce mejoras en los plazos de entrega de la organización.</i>
<i>Hipótesis IV:</i>	<i>La inversión en SPI produce mejoras en los costos de desarrollo.</i>
<i>Hipótesis V:</i>	<i>La inversión en SPI produce mejoras en la productividad de desarrollo.</i>
<i>Hipótesis VI:</i>	<i>La inversión en SPI mejora los ingresos de la organización.</i>
<i>Hipótesis VII:</i>	<i>La inversión en SPI mejora la certidumbre de los resultados</i>
<i>Hipótesis VIII:</i>	<i>La inversión en SPI mejora la imagen organizacional</i>
<i>Hipótesis IX:</i>	<i>La inversión en SPI mejora la satisfacción de clientes.</i>
<i>Hipótesis X:</i>	<i>La inversión en SPI mejora la satisfacción de empleados.</i>

Tabla 4-2 Resumen de hipótesis de investigación

La revisión bibliográfica no muestra que se hayan difundido modelos similares y la experiencia dice que los casos de inversión en SPI se hacen con heurísticas ad-hoc y sin seguir metodologías formales. Es habitual incluso proceder directamente bajo un mandato corporativo con la presunción de beneficios adecuados.

Las organizaciones PyMEs parecen, preliminarmente, tener casos de inversión en SPI marginales. Aún así, son las principales proveedoras de servicios en el mercado global, donde la

acreditación de niveles de madurez según el modelo SEI-CMMI™ es un factor competitivo clave. Este modelo sólo debe ser suficiente para iluminar caminos posibles que permitan a más empresas, y en especial a las más pequeñas, seleccionar estrategias de despliegue SPI que sean viables para ellos.

La probabilidad de éxito en la evaluación introducida en el modelado presenta algunos desafíos que requieren discusión. Para estimar este factor existe la dificultad que no hay recuentos sistemáticos de las organizaciones que han fallado en su evaluación ya que las reglas de privacidad establecidas por el SEI impiden que esas circunstancias se hagan públicas. Es natural comprender, además, que las compañías que han fallado en una evaluación no deseen que esto sea público.

Aún imaginando algún mecanismo de muestreo que permita capturar alguna organización que hubiera fallado en la evaluación y conjeturar qué proporción de la población total representaría, seguramente sería erróneo. Simplemente tomaría aquellas organizaciones que fracasaron pero no contaría las organizaciones que, como resultado de sus revisiones internas, hubieran decidido no realizar el evento formal por el temor a su resultado. Más aún, no contaría las organizaciones que comenzaron inversiones en SPI y simplemente las abandonaron. Se abordará este problema durante la programación del modelo y su validación, mediante conjeturas a partir de los pocos datos disponibles y experiencia en procesos de evaluación. La metodología usada para estimar posibles valores para este factor se discute con más detalle en el Apéndice B.

"Hay personas que viven en un mundo de sueños mientras otros enfrentan la realidad y entonces hay otros que transforman lo uno en lo otro"

Douglas H. Everett

Capítulo 5 Perfiles SPI en organizaciones de Argentina

Para comprender el comportamiento de las organizaciones que realizan iniciativas SPI en Argentina, es necesario recolectar datos sobre sus motivaciones para decidir mejorar sus procesos y que mejores prácticas utilizan para hacerlo. Al mismo tiempo será posible observar si las principales tendencias expuestas en la bibliografía pueden aplicarse razonablemente sobre Argentina. Se recurre a un instrumento de apreciable potencia estadística, como la encuesta realizada por la CESSI entre organizaciones de TI correspondiente al año 2007. Esta información será utilizada en los siguientes capítulos en la formulación del modelo, en particular para ayudar a su validación. Adicionalmente, las relaciones encontradas entre factores contribuirán a inferir qué facilitadores son claves en la adopción de enfoques de SPI. Se revisará además, resumidamente, algunos criterios que son útiles para utilizar colecciones de datos en el campo de la ingeniería de software como marco del análisis de datos realizados en esta encuesta. Se presentarán, a modo de referencia, los datos publicados por CESSI en cuanto a la demografía y resultados obtenidos. Posteriormente, se profundizarán los resultados aplicando análisis alineados con los propósitos de este trabajo de investigación, para finalmente discutir amenazas a la validez y conclusiones.

5.1. Introducción

La investigación se realizó a partir de los datos reunidos por la *encuesta nacional de CESSI*, correspondiente al año 2007, entre organizaciones desarrolladoras de software de Argentina. Las empresas participantes enfocan sus actividades en el desarrollo de productos estándar e implementaciones ajustadas a los respectivos clientes, actualización y mantenimiento de productos existentes, desarrollos específicos y aplicaciones embebidas para dispositivos electrónicos.

El tamaño de los desarrollos de software está aumentando continuamente, así como su complejidad, lo que requiere el incremento continuo de los grupos de desarrollo. Aún así, la mayoría de las respuestas proviene de *Pequeñas y Medianas Empresas* (PyMEs). La prueba objetiva de sus capacidades en ingeniería de software se logra a través de la adherencia a algún estándar formal en calidad, y, en muchos casos, específicamente a niveles concretos de madurez, según lo medido por el modelo SEI-CMMI™.

Hasta ahora se ha extrapolado desde otros mercados cual será el comportamiento de las

empresas de TI en Argentina respecto a inversiones en SPI. Al hacerlo se realiza una hipótesis implícita de validez; sin embargo, muy pocas fuentes han abordado previamente un análisis sistemático del ambiente en Argentina de forma de proveer una mejor comprensión del mismo.

A fin de evitar esta dificultad, este capítulo provee una contribución en este tema mediante el análisis de datos recolectados en Argentina, donde la naturaleza de la muestra permite enfatizar las conclusiones en el segmento de PyMEs. El objetivo es tratar de entender el comportamiento dinámico de las distintas variables asociadas con el esfuerzo de mejora de procesos, especialmente en aquellos casos que dicho esfuerzo es guiado a partir del uso de SEI-CMMI™ como modelo de referencia.

La encuesta y sus análisis generales son públicos, pero el análisis adicional de datos realizado en este capítulo es realizado como parte de esta tesis [Colla-Montagna2008d].

De esta manera, se contribuirá a comprender los factores que definen las estrategias posibles en este sector y la probabilidad de obtener los resultados esperados.

5.2. Metodología de Investigación

Los estudios empíricos en ingeniería de software se basan en la investigación de las prácticas en uso con el propósito de descubrir hechos desconocidos previamente o testear hipótesis. Involucra un esfuerzo de investigación en obtener datos y analizarlos para extraer información de ellos. En vez de realizar investigaciones empíricas, la literatura refleja, en el campo de ingeniería de software, la publicación de ideas con poca o ninguna evaluación científica de la evidencia [Basili1996, Fenton1994, Fuggetta2000, Glass1994, Potts1993, Tichy1998].

Por ejemplo, Tichy [Tichy1995] relevó 400 artículos en el campo de ciencias de la computación publicados por ACM para investigar su rigor. Sólo tomando los artículos cuyas afirmaciones requerían alguna forma de evaluación empírica, encontró que el 40% no proveen soporte alguno para sus afirmaciones. En los artículos abocados a temas relacionados con el software, el porcentaje trepa al 50%. Por comparación, otras disciplinas consideradas en el estudio mostraban figuras en el orden de la quinta parte solamente. Otros estudios proveen conclusiones en la misma dirección donde la evidencia empírica se reduce a lecciones aprendidas y casos de estudio individuales en aproximadamente un 10% de los artículos, mientras que 30% de los trabajos no provee evidencia que colabore a validar sus conclusiones [Zelkowitz1998].

Para realizar esfuerzos de investigación en ingeniería de software se debe decidir el propósito del estudio, el método de construcción que se utilizará y si debe estar basado en métodos cuantitativos o cualitativos.

5.2.1. Propósito del estudio

Neuman [Neuman2000] clasifica los posibles propósitos de una investigación como exploratorio, descriptivo y explicativo. Dado que no hay estudios publicados previos en Argentina con una dimensión nacional sobre el perfil de las organizaciones respecto a esfuerzos SPI, parece adecuado definir el propósito de este estudio como exploratorio. Las principales razones para llevarlo a cabo son familiarizarse con los hechos básicos, determinar un panorama de las condiciones imperantes, formular preguntas para investigaciones futuras, determinar la factibilidad de continuar con la investigación y generar nuevas ideas, conjeturas e hipótesis.

5.2.2. Método de construcción

La construcción y validación de teorías puede ser abordada desde dos direcciones. La aproximación *inductiva* comienza con un conjunto de observaciones y se mueve en la dirección de generalizaciones y teorías que conduzcan a la formulación de hipótesis. La forma *deductiva* comienza con un modelo de relaciones lógicas entre conceptos, que se formulan como hipótesis que a su vez son sujetas a validación empírica. En general, los proyectos de investigación utilizan ambos. Dado el carácter exploratorio del análisis realizado en ésta oportunidad se utilizará la aproximación inductiva.

5.2.3. Dimensión cuantitativa

Otra dimensión a considerar es la decisión de realizar evaluaciones *cualitativas* o *cuantitativas*. En general, se realizan evaluaciones cualitativas toda vez que las cuantitativas no sean posibles. En este caso interesa el aporte cuantitativo que puede proveer el análisis.

En todas las hipótesis sujetas a evaluación, se define una *hipótesis nula* (H_0) representando el “*status-quo*” o “*no cambio*” y una *hipótesis alternativa* (H_a) representando la situación de cambio a ser explorada.

Las hipótesis son verificadas utilizando una lógica de encontrar o no evidencia para rechazar la hipótesis nula. Este mecanismo está asociado a la noción de falsificación sustentada por Popper [Popper1959], y es necesario porque es improbable alcanzar una prueba o justificación absoluta por medios empíricos.

Más que intentar probar las hipótesis en un sentido absoluto, se trata de aumentar la credibilidad de una decisión relativa a un determinado campo del conocimiento [Hempel1966].

De acuerdo con el método de Neyman-Pearson de inferencia estadística, al testear una hipótesis se debe aceptar un nivel de error estadístico. Este error es el riesgo que se está dispuesto a aceptar sobre la validez de una decisión. No importa cuál sea la regla que se quiera probar, hay dos formas de estar en lo cierto y dos formas de cometer errores en la elección entre la hipótesis nula y, su contrapartida, la hipótesis alternativa. En la Figura 5-1 se muestran esquemáticamente los

distintos factores que intervienen en la decisión de un test de hipótesis.

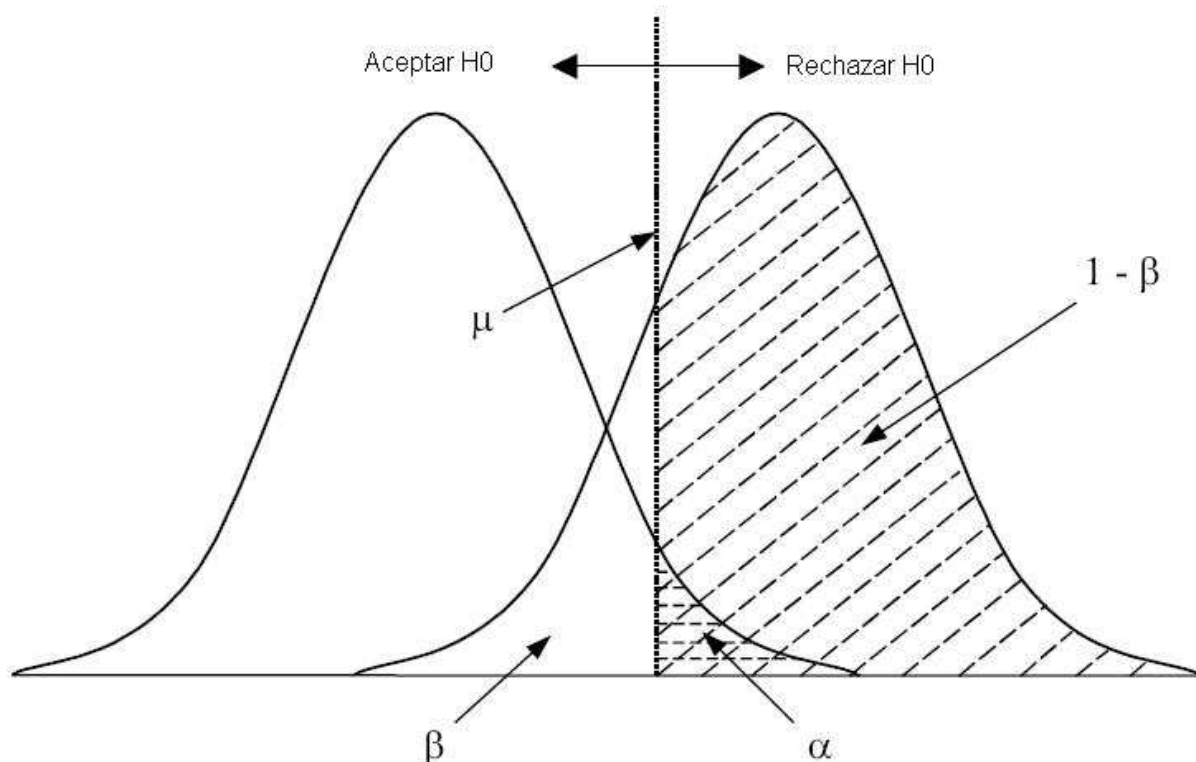


Figura 5-1 Probabilidades de errores Tipo I y Tipo II en un test de hipótesis [Dyba2001]

Se llama error “*Tipo I*” cuando rechazamos la hipótesis nula en forma equivocada. Por convención, la probabilidad de cometer un error Tipo I está representado por el nivel de confianza estadística, denotado con la letra griega α . Este nivel de confianza representará la probabilidad de aceptar la hipótesis nula y que ésta sea falsa. Por el contrario, la probabilidad de estar en lo cierto si la hipótesis nula fuera verdadera será igual a $1 - \alpha$.

Típicamente se elige un nivel de significación estadística de $\alpha=0,05$ como regla de decisión [Baroudi1989, Cohen1988, Miller1997, Neuman2000 y Sekaran1992], aceptando un riesgo de hasta un 5% de rechazar incorrectamente la hipótesis nula bajo revisión. Un rechazo incorrecto de la hipótesis puede ser visto como un “*falso positivo*”.

Los valores “*p*” o *p-values*, como los denominaremos en el resto del trabajo, representan en un test de hipótesis la probabilidad de cometer un error al rechazar la hipótesis nula. Por lo tanto, la validación operativa a realizar para rechazar la hipótesis nula es verificar la condición dada por:

$$p - value < \alpha \quad \text{Ec 69}$$

Al especificar el nivel para un error de Tipo I, determinamos la probabilidad de cometer un error de Tipo II, también denominado β . Éste se refiere a la probabilidad de fallar en rechazar la hipótesis nula cuando en realidad es falsa. La probabilidad de rechazar correctamente la hipótesis

nula si ésta es falsa, es decir seleccionar correctamente la hipótesis alternativa, estará dada por $1-\beta$.

Desafortunadamente, los intentos de mejorar un tipo de error deterioran la capacidad de evitar el otro tipo. La probabilidad $1-\beta$ recibe el nombre de *poder estadístico* [Cohen1988] y es la probabilidad de encontrar que la hipótesis nula es errónea cuando lo es. Es típico considerar valores adecuados de $\beta < 0,2$ o, lo que es lo mismo, una potencia de 80% o superior.

Adicionalmente, las hipótesis pueden ser testeadas mediante una zona de rechazo de uno o dos extremos, correspondientes a uno o ambos extremos de la distribución. Las hipótesis testeadas en forma direccional involucran tipos de comparación como *mayor que*, *mejor que*, *peor que* y similares. Las hipótesis que en cambio son testeadas en forma no direccional son métodos de comparación que verifican *igualdad* o *diferencias* [Hays1994].

El poder estadístico está relacionado con el *nivel de significación* o *confianza* o *confiabilidad* α y el tamaño de la muestra. Como puede desprenderse de la explicación anterior cuanto más restrictivo sea un test, menor el α , mayor será el β y por lo tanto la potencia.

Se puede mantener al mismo tiempo un bajo nivel de significación α y un alto poder estadístico ($1-\beta$) cuando deseamos protegernos tanto de falsos positivos como falsos negativos, pero para ello es necesario trabajar con una muestra grande. Cuando se plantean hipótesis no-direccionales, de igualdad o diferencia, la experiencia sugiere la necesidad de aumentar la potencia de la evaluación relajando ligeramente el nivel de significación. Esto se podrá lograr, si el tamaño de la muestra no puede aumentarse, utilizando valores de $\alpha > 0,05$, usualmente no mayores a $\alpha=0,1$.

5.2.3.1 Análisis de correlaciones

El análisis de la *correlación* entre dos variables estudia la relación entre las mismas para verificar si el comportamiento de una variable es explicada por otra en un nivel significativo. Para hacerlo, el primer factor que se analiza es el denominado *coeficiente de determinación* R^2 o ρ^2 , que por su definición informa qué proporción del comportamiento de la variable dependiente es efectivamente explicado por el comportamiento de la variable que se asume independiente. De obtenerse valores entre 0,75 y 0,8 se consideran una buena comprobación experimental.

También se puede plantear el análisis de correlación como un test de hipótesis. En este caso, el poder estadístico estará dado por la probabilidad de detectar un determinado nivel de R^2 como estadísticamente significativo cuando las variables están correlacionadas. Este tipo de análisis será utilizado en el Capítulo 6 cuando se realicen evaluaciones utilizando el mecanismo de correlación denominado *Generalized Linear Model* (GLM).

5.2.4. Tipos de variables

Finalmente, es necesario definir el diseño de la investigación en términos de las preguntas

que se desea contestar con ella. Para ello, es necesario definir las variables intervinientes en alguna de las siguientes categorías:

- **Variable independiente**

Son las causas presumidas de los efectos bajo investigación.

- **Variable dependiente**

Son las variables que reflejan el resultado de las modificaciones en las variables independientes.

- **Variable moderadora o parámetro**

Si bien puede ser definida como una variable independiente, es una variable del modelo que influencia los resultados y también puede regular la influencia de variables independientes.

- **Variable de intervención.**

Es una función de una variable independiente que ayuda a explicar la influencia sobre las variables dependientes.

5.2.5. Tipos de diseño

El diseño también puede ser clasificado en *ex post* o *experimental* [Campbell1963], en función del control que tiene el investigador sobre las variables independientes elegidas para el estudio.

En diseños *ex post*, el investigador no puede o no intenta manipular los valores de las variables independientes. En los diseños de tipo experimental, el investigador manipula o controla de alguna manera los valores de las variables independientes, de manera tal de medir los efectos en las variables dependientes de interés.

Dado que se construye el análisis a partir de la encuesta CESSI 2007 ya realizada, estamos realizando claramente un diseño *ex post*.

5.2.6. Objetivo del estudio

La mayoría de los estudios empíricos sobre la adopción de enfoques para la SPI revisados en capítulos anteriores se sostienen en estadísticas simples y métodos analíticos, tales como tablas de porcentajes, gráficos y evaluaciones uni-variables y multi-variables. Los tamaños de las muestras son usualmente pequeños, con la correspondiente reducción en los *grados de libertad* (degrees of freedom DF) que permitirían realizar análisis de mayor complejidad.

Si bien se puede obtener una buena comprensión de los fenómenos bajo estudio con técnicas de análisis relativamente simples, la oportunidad de realizar el análisis a partir de los datos reunidos

en base a una muestra significativa de las organizaciones de tecnología abocadas al desarrollo de software en Argentina contribuye a reforzar las conclusiones.

5.2.7. Fuentes de datos

La encuesta tomada como base para este estudio es realizada por el *Observatorio PyME* de Argentina, con el patrocinio de la CESSI en Argentina. Su alcance original se definió por fuera de las necesidades de esta actividad de investigación. No obstante, los datos base fueron cedidos por las autoridades de CESSI para ser reutilizados en este esfuerzo de investigación. La incorporación de una encuesta existente introduce amenazas a la validez, que serán discutidas posteriormente.

La encuesta consta de 44 preguntas repartidas en 8 secciones, denominadas *Características Generales* (A), *Inversión e Innovación* (B), *Problemas y Expectativas* (C), *Performance* (D), *Exportaciones* (E), *Economía y Finanzas* (F), *Calidad* (G) y *Recursos Humanos* (H). Se captura una combinación de respuestas binarias (Si/No), opciones múltiples (multiple choice), respuestas cerradas (3-Likert, 4-Likert, 5-Likert y 10-Likert), así como respuestas categóricas y directas.

Es usual utilizar como respuestas cerradas una escala de psicometría denominada *Likert*, en honor al psicólogo Rensis Likert que la propuso originalmente. Esta escala representa distintos niveles de adherencia a un determinado concepto o pregunta. Dependiendo de la resolución deseada se define el número de respuestas propuestas. Se describe el número de opciones para una pregunta dada con dicho valor seguido del término “Likert”. Por ejemplo, “5-Likert” significa una respuesta cerrada con cinco opciones.

Sólo un número reducido de las preguntas incluidas en la encuesta tienen potencial para ser utilizadas en esta investigación. En base a la *definición operativa* de las variables capturada por la encuesta, se asocian preguntas específicas a variables de investigación concretas de los distintos tipos vistos. Los valores asignados por el encuestador a estas variables estarán fuera del control de esta investigación. Se puede ver en el Apéndice F el subconjunto de las preguntas utilizadas para el presente análisis, así como los filtros y criterios de integridad utilizados. La estructura de la encuesta original y sus resultados son publicados por CESSI, a quien puede solicitarse detalles adicionales o realizar otras consultas.

5.2.8. Marco del análisis

El modelo conceptual preliminar construido en el Capítulo 4 nos orienta en las variables independientes, parámetros y resultados (variables dependientes) que resultan de interés.

Al hacer una asimilación de diferentes variables de interés con preguntas específicas de la encuesta, es posible investigar sistemáticamente mediante test de hipótesis si éstas variables influyen los resultados propuestos o variables dependientes. Los datos disponibles, los métodos

de codificación empleados y las distribuciones que evidencian las distintas variables determinan la utilización de diferentes técnicas estadísticas para realizar los test de hipótesis respectivos.

Al mismo tiempo, se pueden encontrar fundamentos para excluir del modelo aquellas variables independientes para las que se pueda demostrar que su capacidad de explicar el comportamiento de las variables dependientes estudiadas no es significativa.

En algunos casos, aunque el test realizado tenga un resultado cuya confianza sea discutible, se deberá perseverar en su uso puesto que aporta fundamentos, aunque sea aproximados, sobre temas que previamente no habían sido objeto de análisis.

Para las evaluaciones realizadas en este capítulo, se utilizarán los resultados de las preguntas relacionadas con la adopción realizada o planeada del modelo de calidad SEI-CMMI™ como variable dependiente.

Cuando se adopta un modelo de referencia para guiar los esfuerzos de mejora de procesos, SEI-CMMI™ por caso, se deben tomar decisiones durante la implementación sobre la base de factores internos y externos a la organización. Estos factores determinan qué características tendrá el esfuerzo SPI para cada organización individualmente, cuáles serán los esfuerzos involucrados, qué expectativas de ingresos resultarán de la iniciativa y, en general, qué expectativas de éxito podrán esperarse.

La base de datos utilizada para el análisis dispone de información sobre el estado de certificaciones ISO-9000 y otros tipos de certificaciones para el mismo grupo de organizaciones sobre el que se estará estudiando la adopción de SEI-CMMI™. Esto permitirá realizar análisis comparativos entre la adopción de los diferentes modelos de calidad utilizados en Argentina. La utilidad de hacerlo reside en identificar cuándo un determinado hallazgo o relación es particular de SEI-CMMI™ o puede generalizarse a iniciativas genéricas de mejora de procesos.

Al trabajar principalmente con estos dos modelos de referencia se asume, en forma implícita, que los niveles de adopción de certificaciones de calidad de otro tipo no son relevantes en Argentina; pero esta presunción deberá confirmarse como parte del análisis de la encuesta.

En aquellas organizaciones que muestren la intención de implementar mejoras de calidad o que tengan expectativas de aumentar sus ingresos, se estudiará en particular la relación con la adopción de SEI-CMMI™ como modelo de referencia.

Es relevante también estudiar los casos donde la organización informa tener en marcha estrategias relacionadas con *Investigación y Desarrollo* (I+D) enfocadas en mejorar la productividad, la calidad de software, el ciclo de trabajo y su vinculación con la existencia de mejoras SPI existentes o planeadas.

Se estudiará la relación de iniciativas SPI con la adopción e implementación de prácticas

relativas a *Gestión de Calendarios, Planeamiento de Proyectos, Monitoreo y Control de Progreso*, así como metodologías de *Estimación y Gestión de Riesgos* que pueden asimilarse como pre-requisitos por incrementar la madurez de sus procesos.

Finalmente, el análisis incluye tres factores que, a priori, se asumen como *facilitadores* del esfuerzo de SPI, tales como la actuación corriente o intención futura de operar en mercados internacionales *offshore*, la membresía a *grupos económicos* y la adherencia a la *Ley de Software* (Ley 25.922) de Argentina.

5.2.9. Demografía de la encuesta

El número total de respuestas de organizaciones disponibles para esta investigación fueron 191, de las cuales 173 (90,5%) reportan estar enfocadas en *Desarrollo, Mantenimiento y Soporte de Software* y, por lo tanto, fueron incorporadas al análisis. Al mismo tiempo, 18 organizaciones (9,5%) se especializan en otros aspectos, tales como *Servicios de Valor Agregado*, provistos por medio de software u otras prestaciones relacionadas de la industria. Este grupo no fue incluido en el análisis, pues se considera que pertenecen a un segmento que no tiene ningún incentivo para inclinarse a realizar inversiones en SPI basadas en el modelo de referencia SEI-CMMI™.

De las respuestas incluidas, 32 casos no proveen información sobre el tamaño de la organización, que se considera objeto esencial de esta investigación. Al mismo tiempo otras 30 respuestas proporcionan información incompleta, fragmentada o inconsistente sobre sus ingresos. El ingreso reportado es utilizado como instrumento para validar el tamaño de la organización. Aquellas organizaciones cuya relación entre ingreso y tamaño sean casos especiales (*outliers*) respecto de la población, serán tratadas en forma separada y excluidas del análisis estadístico. Las respuestas y organizaciones cuyos datos no cumplen con los criterios de aceptación de datos enunciados, tampoco fueron incorporadas en el mismo. Una verificación de sensibilidad adicional realizada en un análisis subsiguiente, muestra que los resultados y conclusiones no varían significativamente por la eliminación de estos registros.

Se realiza el procesamiento de los datos de la encuesta por medio del paquete MiniTab v14.2 (licencia corporativa). Se toman, entonces, un total de 111 registros de la encuesta como base para el análisis. Los principales parámetros estadísticos de la misma pueden observarse en la Figura 5-2, mostrando la caracterización estadística de la población.

En un primer análisis se encuentra que el tamaño de la organización no sigue una distribución normal, dado que el test de *Anderson-Darling* de normalidad tiene un valor *p-value* de 0,005. La enorme mayoría de las organizaciones capturadas en la encuesta están compuestas por 160 personas o menos (97,3%) y, por lo tanto, son asimiladas como PyMEs. La mediana del tamaño es de 19 personas o menos y el tercer cuartil de la distribución (75% de la población) compuesta por

organizaciones de 39 personas o menos. En el Capítulo 8 se utilizarán estos criterios para definir organizaciones de hasta 20 personas como pequeñas, hasta 50 personas como medianas y 100 o más personas como grandes.

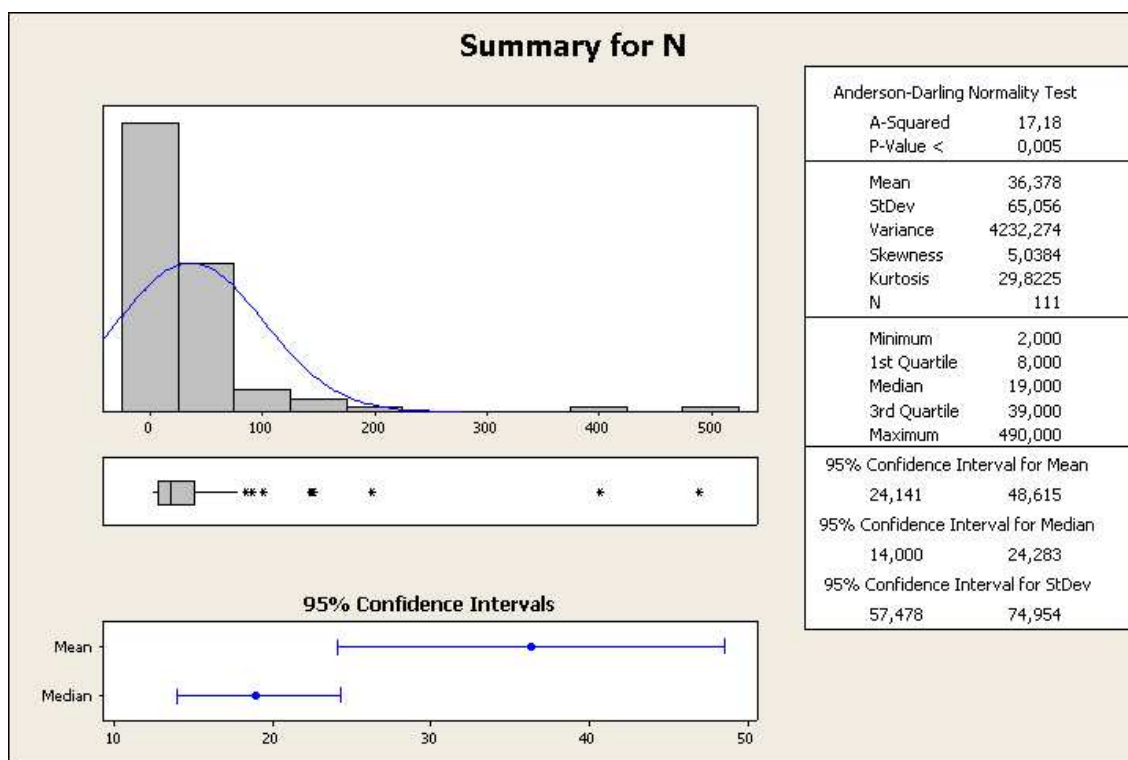


Figura 5-2 Resumen de Análisis Estadístico de la Encuesta [resultado de ejecución con Minitab v1.42]

Usando un *test de independencia*, se encuentra evidencia que el orden de los registros es al azar ($p\text{-value}=0,767$). Este paso confirma que no se introducen sesgos en las conclusiones por alguna organización en particular de los datos. La realización de un test “no paramétrico”, si bien tiene menos potencia, nos permite no tomar premisas sobre cuál es la distribución de la población.

A fin de evaluar cómo se comporta la población respecto a las variables que son consideradas independientes, las organizaciones que esperan incrementar sus ingresos en el futuro cercano son 48 (43,24%), mientras que aquellas que expresan deseos de realizar inversiones en calidad son 75 (67,57%).

5.2.10. Conclusiones reportadas por CESSI

Se exploran rápidamente los valores aportados por CESSI como análisis de la encuesta. Estos datos no han sido reprocesados, pero se reproducen aquí con el objetivo de contribuir a la mejor comprensión de la población bajo estudio.

Los esfuerzos de *Investigación y Desarrollo (I+D)* están orientados a *Productividad* en 57

respuestas (51,35%), *Calidad de Software* en 71 casos (63,96%), *Ciclo de Vida* es citado en 48 casos (43,24%), *Mejora de Procesos* en 49 casos (44,14%) y finalmente la categoría *Otros* tiene 57 respuestas afirmativas (51,35%).

En lo que respecta a mejores prácticas, la *Gestión de Calendarios* es reportada como adoptada en 89 casos (80,18%), *Planeamiento de Proyectos* en 76 casos (68,47%), *Monitoreo y Control de Proyectos* en 93 (83,78%), *Metodologías de Estimación* en 63 casos (56,76%) y finalmente *Gestión de Riesgos* en 38 casos (34,23%).

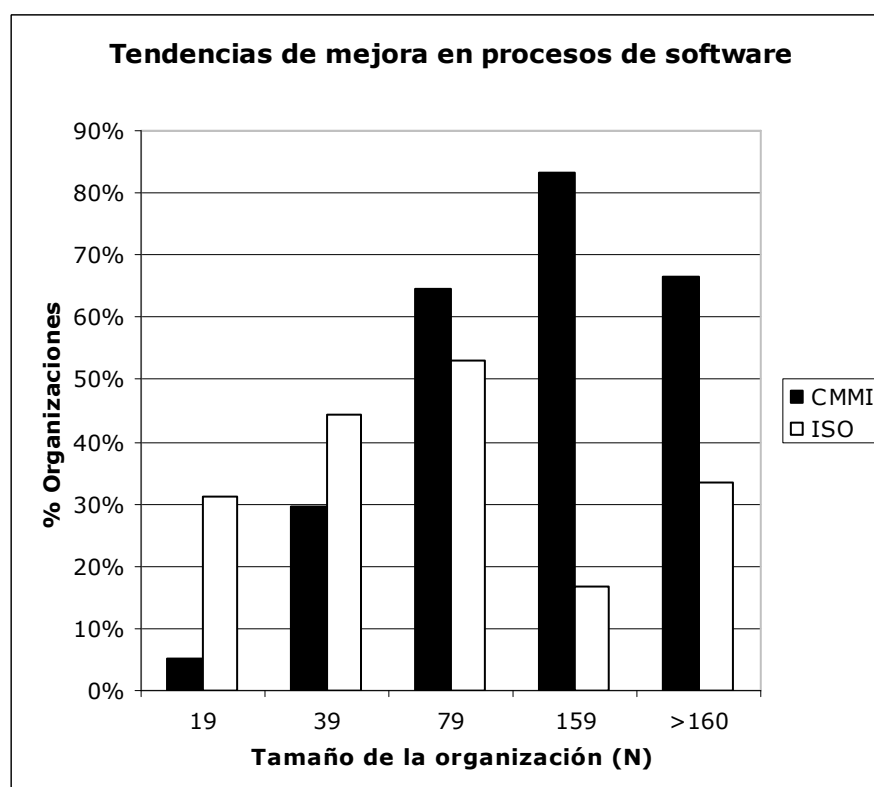


Figura 5-3 Distribución de Frecuencias SEI-CMMI(TM) e ISO-9000 respecto al tamaño [CESSI2007]

Finalmente, en relación a otros factores de contexto, 43 organizaciones (38,7%) indican la adopción de la *Ley de Software*. Las organizaciones que declaran membresía a un *grupo económico* son 43 (38,7%). Estas condiciones no son excluyentes, de hecho 18 organizaciones reportan ambas simultáneamente. Con 88 respuestas (79,2%), una importante mayoría de las organizaciones dicen realizar actividades con mercados *offshore*.

Se releva que 29 organizaciones (26,13%) adoptan SEI-CMMI™ como modelo de referencia, con 17 de ellas (15,32%) habiendo sido evaluadas en algún nivel de madurez, mientras que las restantes 12 (10,81%) están en proceso de ser evaluadas.

Como alternativa, se identifica que el marco de certificación *ISO-9000* ha sido adoptado por

41 organizaciones (36,94%), siendo 29 de ellas (26,13%) ya certificadas, mientras que 12 (10,81%) están en proceso de evaluación.

Sólo 4 organizaciones contestan haber adoptado *SEI-CMMI*TM e *ISO-9000* simultáneamente, lo que se toma como base para considerar que las organizaciones no abordan ambas con una frecuencia que sea relevante para este análisis. La distribución de frecuencias en la adopción de ambos modelos de calidad respecto del tamaño de la organización puede observarse en la Figura 5-3.

Las organizaciones cuyo foco principal no está asociado con el desarrollo de software fueron excluidas del análisis, los resultados muestran que ninguna está realizando actividades en el marco del modelo *SEI-CMMI*TM y sólo 2 (11,1%) planean utilizar *ISO-9000* como referencia. Esta frecuencia baja de incidencia confirma la hipótesis inicial que este segmento de empresas no es probable que estén interesadas en iniciar esfuerzos significativos de SPI debido a la naturaleza de su operación, justificando entonces su exclusión del análisis.

5.3. Análisis de resultados

Las preguntas que se intentan contestar en esta investigación son:

1. *¿Está relacionada en Argentina la adopción de las iniciativas de SPI usando *SEI-CMMI*TM como modelo de referencia con el tamaño de la organización?*
2. *¿Cómo compara la adopción de iniciativas de SPI en Argentina utilizando *SEI-CMMI* respecto al uso de *ISO-9000* en la misma población?*
3. *¿Está relacionada la adopción de iniciativas referenciadas en *SEI-CMMI*TM con el conjunto de variables independientes y parámetros propuestos?*

Para responder a estas preguntas se realizarán estudios de tipo estadístico para acumular evidencia y, posteriormente, se propondrán respuestas en el final del capítulo.

Durante el análisis, se aceptará en ocasiones un nivel de errores estadísticos de *Tipo I* a un nivel de significación del 10% ($\alpha \leq 0,10$), para permitir que emerjan relaciones que de otra manera están ocultas por la naturaleza de los datos utilizados. Esto requerirá que se realice una confirmación ulterior de los hallazgos por otros medios, como los que se utilizarán en el capítulo siguiente.

Las secciones siguientes abordan estas cuestiones.

5.3.1. Dependencia con el tamaño de la organización

La frecuencia de adopción de SEI-CMMI™ e ISO-9000 se puede ver en la Tabla 5-1.

Tamaño de la Organización			SEI-CMMI™		ISO-9000	
Desde	Hasta	Número	Número	%	Número	%
1	19	58	3	5.2%	18	31.0%
20	39	27	8	29.6%	12	44.4%
40	79	17	11	64.7%	9	52.9%
80	159	6	5	83.3%	1	16.7%
160	y más	3	2	66.7%	1	33.3%
		111	29		41	

Tabla 5-1 Frecuencia de Adopción de SEI-CMMI™ e ISO-9000 por organizaciones en Argentina [CESSI2007]

Para cada segmento de población se obtiene el número de empresas que adoptó SEI-CMMI™ (Número) y la proporción que representa sobre la población total de ese segmento. Se repite un análisis similar para ISO-9000.

La frecuencia relativa de organizaciones adoptando SEI-CMMI™ se incrementa con el tamaño de la organización. Más de la mitad de las organizaciones con 40 personas o más abrazan SEI-CMMI™. En cambio, la distribución para organizaciones utilizando ISO-9000 muestra un patrón donde las organizaciones más pequeñas (40 personas o menos) parecen preferir este modelo.

El número total de organizaciones que adoptan ISO-9000 termina siendo mayor que el de las compañías utilizando SEI-CMMI™. La razón de esta mayor frecuencia de adopción se encuentra en que la muestra está compuesta por un número mayor de organizaciones pequeñas.

Asumiendo que el tamaño de la organización puede aproximarse a una función de variación continua, se la utilizará como variable predictora de la adopción de SEI-CMMI™. Al efecto, se utiliza la técnica denominada *Modelado Lineal Generalizado* (GLM por sus siglas en inglés *General Linear Model*), que reporta una relación estadísticamente significativa un $p\text{-value}=0,00$ y un $\rho^2=73,05\%$. Esta es la proporción del resultado del modelo que se puede explicar como influencia de la variable predictora utilizada y se lo considera satisfactorio para concluir que existe una relación significativa entre la adopción de SEI-CMMI™ y el tamaño de la organización.

Realizando el mismo análisis vinculando el tamaño de la organización con la adopción de ISO-9000, se encuentra que la correlación no es buena con un $p\text{-value}=0,522$ y un $\rho^2=45,03\%$, significando que no hay evidencia que soporte, en este caso, la relación entre el tamaño de la organización y la adopción de ISO-9000 en forma satisfactoria. Es decir, mientras el tamaño de la organización explica la adopción de SEI-CMMI™ no lo hace con la adopción de ISO-9000.

Resta entonces explorar hasta qué punto las distribuciones de adopción de SEI-CMMI™ e ISO-9000 son similares. Para realizar este estudio se recurre al test de *Mann-Whitney*. Se realiza un

test de hipótesis donde la hipótesis nula (H_0) es que las medianas de ambas distribuciones son iguales, mientras que la hipótesis alternativa (H_a) es que ambas son diferentes. En este caso, el test entrega un $p\text{-value}=0,084$. En un nivel de confiabilidad del $\alpha=0,10$ permite sostener la hipótesis que existe una diferencia entre las medias poblacionales.

Esto aporta evidencia que las organizaciones más grandes tienden a adoptar SEI-CMMI™, mientras que las más pequeñas ISO-9000, lo que contesta una de las preguntas de investigación formuladas anteriormente.

5.3.2. Dependencias con Variables Independientes y Parámetros

Se evalúa la dependencia entre la adopción de los beneficios de la *Ley de Software en Argentina (Ley 25922)*, la pertenencia a un grupo económico o la operación *offshore* con la adopción de mejoras de proceso. Para hacerlo se usa el test de asociación *Chi-Cuadrado* (X^2). El objetivo es comprender en qué medida estos parámetros se demuestran como impulsores de la adopción de iniciativas SPI por parte de organizaciones en Argentina.

Se trabaja al respecto con SEI-CMMI™ y ISO-9000 como variables dependientes resultantes. La encuesta captura, para estos modelos de referencia, tanto la adopción ya realizada como la intención de hacerlo en el futuro. Por lo tanto, también se investigará si existe alguna influencia de esta condición.

Para analizar los resultados del test, se elegirá como hipótesis alternativa que exista asociación y se utilizará como probabilidad de corte un valor de $\alpha=0,10$, por lo que la condición $p\text{-value} \leq \alpha$ indicará entonces asociación entre cada variable independiente explorada y su correspondiente variable dependiente en cada caso. De la misma forma, la condición $p\text{-value} > \alpha$ se tomará como que no existe evidencia que sostenga el rechazo de la hipótesis nula, lo que implica que las variables bajo análisis no evidencian asociaciones entre si, por lo que se las considerará como independientes.

La Tabla 5-2 captura los resultados de este análisis. Se consideran “Utilizando Ley 25922”, “Pertenencia a grupo económico” y “Operación offshore” como variables independientes, y si adoptó o planea adoptar, respectivamente, los modelos SEI-CMMI™ o ISO-9000 como variables dependientes. Para simplificar la notación, se utiliza “Si” indicando que se detecta la condición de asociación dentro del límite de confianza seleccionado y “No” en caso contrario.

Status	CMMI			ISO9000		
	Ley 25922	Grupo E.	OffShore	Ley 25922	Grup E.	OffShore
Planea	Si	No	No	No	No	No
Adoptó	No	No	No	No	No	No

Tabla 5-2 Dependencia de SEI-CMMI™ e ISO-9000 de parámetros

La conclusión derivada de este análisis es que la adopción de ISO-9000 no muestra asociaciones significativas de ninguno de los tres factores considerados candidatos a operar como variables independientes, ni en organizaciones que han abrazado el modelo ni en aquellas que planean hacerlo.

Respecto a SEI-CMMI™ se observa que de los tres factores candidatos, sólo la adopción de los beneficios de la Ley 25922 está asociado a que las organizaciones planeen adoptar el modelo de referencia. Curiosamente no se advierte relación entre este factor y que la organización ya hubiera adoptado el modelo. Esto puede resumirse en que ni la operación offshore ni la pertenencia a grupos económicos influyen la adopción de modelos de referencia de calidad en organizaciones argentinas, mientras que la Ley de Software parece influenciar a aquellas organizaciones que planean adoptar SEI-CMMI™ pero no a aquellas que consideran adoptar ISO-9000.

Una segunda cuestión a ser estudiada es en qué medida se puede considerar que las diferentes mejores prácticas que las organizaciones reportan aplicar explican, como variables independientes, la adopción de SEI-CMMI™ o ISO-9000 como variables dependientes.

Nuevamente, se evalúa la hipótesis nuevamente mediante el test de asociación *Chi-Cuadrado* (X^2), donde la hipótesis nula se corresponde con la independencia entre variables (una no explica la otra), mientras que la hipótesis alternativa, por el contrario, indica asociación entre variables (la variable supuesta dependiente está efectivamente asociada por la existencia de la variable independiente).

Como en el test anterior, se utiliza como criterio de corte un valor $\alpha=0,10$ y, por lo tanto, cuando el test exprese la condición $p\text{-value} \leq \alpha$ indicará que las variables están asociadas, mientras que la condición $p\text{-value} > \alpha$ representará evidencia insuficiente para rechazar la hipótesis nula y, por lo tanto, se podrá considerar a las variables como independientes.

Se presenta en Tabla 5-3 el resultado del test donde se analiza la relación entre la adopción de ISO-9000 y SEI-CMMI™ como variables dependientes y las mejores prácticas capturadas por la encuesta como variables independientes. Se discutirá en las conclusiones algunas implicancias de las relaciones de causalidad estudiadas en éste análisis.

Variable	CMMI	ISO9000
Incremento de ingresos	No	No
Inversiones en calidad	No	Si
Mejoras de productividad	No	Si
Foco en calidad de software	No	Si
Mejoras en entregas	Si	No
Mejoras en procesos	Si	No
Otras Inversiones	No	No
Usa gestión de calendarios	No	No
Usa planeamiento de proyectos	Si	No
Realiza monitoreo de proyectos	No	No
Utiliza prácticas de estimaciones	Si	No
Gestiona riesgos	Si	No

Tabla 5-3 Relación entre SEI-CMMI™ e ISO-9000 con variables supuestas independientes

Al efecto, se indica con “Si” la existencia de una dependencia estadísticamente significativa con $\alpha \leq 0,10$ y “No” en caso contrario. El estudio muestra que las diferentes prácticas adoptadas por las organizaciones operan como predictores de los modelos de calidad que adoptarán. El ciclo de entrega, mejora de procesos, planeamiento de proyectos, estimaciones y gestión de riesgos actúan como variables independientes (predictores) de la adopción de SEI-CMMI™. Al mismo tiempo, el deseo de invertir en calidad y prácticas para mejorar la productividad operan como predictores de la adopción de ISO-9000.

La necesidad de incrementar los ingresos, el deseo de realizar otras inversiones, la gestión de calendarios y el monitoreo de proyecto no actúan como predictores de ninguno de los modelos de referencia considerados. En particular, los resultados de gestión de calendarios y monitoreo de proyectos pueden parecer extraños en una primera lectura, en especial en lo que respecta a SEI-CMMI™ si se considera que están fuertemente relacionados con prácticas de Nivel 2. Sin embargo, la gestión de calendarios es parte inherente de la gestión del ciclo de entrega que sí evidencia relación con la adopción de SEI-CMMI™. Al mismo tiempo, el planeamiento de proyectos incluye en forma inherente el monitoreo de los mismos, el que muestra estar relacionado con la consideración de SEI-CMMI™. Puede entonces conjeturarse que los estados iniciales, o más primitivos, de las mejores prácticas respectivas no parecen impulsar la adopción de modelos de referencia, mientras que el despliegue de instancias más maduras de las mismas prácticas sí lo hacen.

A modo de comprobación, la evaluación de dependencia anterior fue repetida usando el método no paramétrico de *Goodman-Kruskal*, donde se mide la mejora porcentual en la probabilidad de la variable dependiente dados los valores de la otra variable asumida independiente. Es decir, si la variable dependiente tiene mayor probabilidad para los valores de la variable

independiente implica la relación entre ambas. Al mismo tiempo, el test no-paramétrico de *Cramer* (v^2) fue usado para medir la asociación entre la variable independiente y la dependiente de tal manera que un resultado con valor de cero implica que no existe asociación perceptible. Ambos tests sostienen las conclusiones provistas por el análisis de Chi-Cuadrado.

Finalmente, se utilizó nuevamente el método Generalized Linear Model (GLM) para realizar un análisis uni-variable de la varianza, así como el análisis de la co-variancia y de regresión para cada variable respuesta. En este caso, se estudió el uso corriente de los modelos SEI-CMMI™ e ISO-9000 respectivamente

El análisis de la variancia en la Tabla 5-4 provee, para cada término del modelo, una ejecución realizada con MiniTab donde se determinan los grados de libertad (DF), la suma secuencial de cuadrados (*Seq SS*), la suma de cuadrados ajustada (*Adj. SS*), la media de los cuadrados ajustada (*Adj MS*), la estadística F obtenida sobre la media de los cuadrados ajustados y el p-value. La nomenclatura utilizada para las variables se corresponde al mapa presentado en el Mapa Encuesta CESSI 2007.

Analysis of Variance for CMMI Adoption, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Size(N)	50	15,64961	11,05130	0,22103	2,36	0,002
Income	1	0,00385	0,00364	0,00364	0,04	0,845
Product	1	0,00088	0,30065	0,30065	3,21	0,080
SW Qual	1	0,02183	0,01917	0,01917	0,20	0,653
C. Time	1	0,29080	0,57914	0,57914	6,18	0,017
Proc.Impr	1	0,41748	0,57347	0,57347	6,12	0,017
Others	1	0,03695	0,06908	0,06908	0,74	0,395
Schedule	1	0,00855	0,13033	0,13033	1,39	0,244
Planning	1	0,07864	0,01665	0,01665	0,18	0,675
PMC	1	0,10457	0,03399	0,03399	0,36	0,550
Estimat	1	0,16830	0,05634	0,05634	0,60	0,442
Risk Mgmt	1	0,07289	0,11591	0,11591	1,24	0,272
Q.Invest.	1	0,17773	0,17773	0,17773	1,90	0,175
Ley 25922	1	0,03823	0,10971	0,10971	1,17	0,285
E.Group	1	0,12396	0,25357	0,25357	2,71	0,107
Offshore	1	0,01508	0,01228	0,01228	0,13	0,719
Error	45	4,21407	4,21407	0,09365		
Total	110	21,42342				
S = 0,306016 R-Sq = 80,33% R-Sq(adj) = 51,92%						

Tabla 5-4 Análisis GLM para SEI-CMMI™ (ejecución MiniTab v1.2)

La suma secuencial de cuadrados asume que los términos previos están en el modelo y, por lo tanto, dependen del orden o secuencia en que se expresa el modelo. Al mismo tiempo, la suma ajustada de los cuadrados asume que todos los otros términos están incluidos en el modelo y, por lo

tanto, su valor no depende del orden de expresión de los factores en el modelo. Si bien la información provista por la ejecución es abundante, el principal resultado a inspeccionar es el p-value (P), el cual sirve como criterio para caracterizar la relación.

Al igual que en los anteriores test de hipótesis, se tomara un valor de significación de $\alpha=0,10$ por lo que la condición $p\text{-value} \leq \alpha$ indicará que existe una evidencia significativa de la relación causal entre las respectivas variables independientes y las dependientes bajo estudio.

El valor de ρ^2 (R-Sq) muestra que el conjunto de las variables independientes tomadas como un modelo lineal explica el 80,33% de la variación en la frecuencia de adopción de SEI-CMMI™. Esto permite afirmar que el análisis de regresión explica la evidencia presentada por la encuesta razonablemente bien.

Analysis of Variance for ISO9000 adoption, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Size(N)	50	11,6440	14,0847	0,2817	1,41	0,120
Income	1	1,3933	0,9804	0,9804	4,92	0,032
Product	1	1,6623	0,5308	0,5308	2,66	0,110
SW Qual	1	0,0972	0,0009	0,0009	0,00	0,946
C.Time	1	0,0146	0,0002	0,0002	0,00	0,978
Proc.Impr	1	0,0631	0,0009	0,0009	0,00	0,948
Others	1	0,1671	0,0929	0,0929	0,47	0,498
Schedule	1	0,1308	0,0680	0,0680	0,34	0,562
Planning	1	0,0454	0,1372	0,1372	0,69	0,411
PMC	1	0,0136	0,0820	0,0820	0,41	0,525
Estimat	1	0,0434	0,0105	0,0105	0,05	0,819
Risk Mgmt	1	0,1074	0,0204	0,0204	0,10	0,751
Q.Invest	1	1,0282	1,0282	1,0282	5,16	0,028
Ley25922	1	0,3588	0,5920	0,5920	2,97	0,092
E.Group	1	0,0358	0,0131	0,0131	0,07	0,798
Offshore	1	0,0840	0,0234	0,0234	0,12	0,733
Error	45	8,9669	8,9669	0,1993		
Total	110	25,8559				

S = 0,446391 R-Sq = 65,32% R-Sq(adj) = 15,23%

Tabla 5-5 Análisis GLM para ISO-9000 (ejecución MiniTab v1.2).

Usando el mismo límite de corte para el test de hipótesis ($\alpha=0,10$), el análisis de los factores p-value muestra evidencia significativa de la influencia en la frecuencia de adopción de SEI-CMMI del *tamaño de la organización* (N), el énfasis de I+D en productividad, ciclo de trabajo y mejora de procesos. Se muestra, al mismo tiempo, una relación algo marginal con la pertenencia a grupo económico.

En general, se prefiere obtener resultados donde los grados de libertad sean altos.

Desafortunadamente eso no ocurre para ninguna de las variables, con excepción del tamaño de la organización, por lo que este factor requiere cautela al analizar los resultados.

El mismo análisis se repite para la adopción de ISO9000, y los resultados pueden observarse en la Tabla 5-5.

Los valores p-value obtenidos muestran evidencia significativa que la adopción de la Ley de software argentina, la existencia de incrementos de ingresos y la prioridad de I+D en calidad explican la adopción de ISO-9000.

A diferencia de SEI-CMMI™, se observa una influencia marginal de tamaño organizacional y foco I+D en productividad como variables independientes y, de hecho, están por debajo de los límites prefijados para la aceptación de la hipótesis.

Los valores de ρ^2 muestran que, para el caso de ISO-9000, el modelo obtenido explica 65,32% de la variación en la frecuencia de adopción de la norma, por lo que se considera que en este caso el análisis de regresión predice sólo en forma marginal los datos de la encuesta y, por lo tanto, no resulta adecuado como modelo de predicción.

5.4. Amenazas a la validez

Los datos utilizados en este estudio fueron reunidos como parte de una encuesta general de la industria, y no mediante un instrumento diseñado específicamente para soportar este esfuerzo de investigación. Esto resulta en más amenazas a la validez interna que las que serían deseables, tales como las discutidas en la Sección 3.4. No obstante, se ha insistido en su uso porque permite disponer de datos rara vez recolectados en la escala alcanzada por esta encuesta. Además, permiten echar luz sobre cuestiones de investigación previamente no abordadas en forma sistemática en Argentina.

En los tests e instrumentos estadísticos utilizados se adoptó un margen de confianza $\alpha=0,10$, el cual es más alto que lo usual (típicamente se utiliza $\alpha=0,05$) aunque se encuentra todavía dentro de niveles aceptables. Dada la naturaleza exploratoria de este análisis, es conveniente su uso para permitir que emerjan relaciones y patrones. Al mismo tiempo, esta acción evita reducir demasiado el poder estadístico del instrumento, como hemos visto en la Sección 5.2.3.

Por otra parte, las organizaciones pueden estar tentadas a proveer respuestas no exactas pero que reflejan mejor su propia percepción, que otras respuestas que quizás hubieran sido más ajustadas a los hechos. Esto es especialmente destacado cuando se discuten sus planes futuros sobre SPI, los cuales indudablemente están profundamente relacionados con el alcance de mejoras en la calidad como objetivo organizacional. Esta amenaza ha sido parcialmente controlada filtrando datos

inconsistentes o incompletos, incluso al riesgo de reducir la confianza del análisis debido a la reducción de la muestra.

A medida que pasa el tiempo desde su recolección, los datos utilizados comienzan a desactualizarse, ya sea por eventos externos significativos en el escenario global como por la misma dinámica de mejora continua de las organizaciones y, por lo tanto, algunas de las respuestas pueden cambiar. No obstante, las iniciativas de SPI son inherentemente proposiciones de largo aliento y se considera que este efecto no distorsiona significativamente las conclusiones.

En un marco ideal, las decisiones que las organizaciones adoptan son juicios racionales de costo contra beneficios. Sin embargo, en términos prácticos, esta perspectiva teóricamente simple puede resultar inválida para firmas específicas, en especial en aquellas de pequeño tamaño, fuertemente restringidas en sus recursos, que son una parte substancial de la población de la muestra.

Una última consideración es que las variables independientes fueron asignadas a la encuesta mediante un proceso de mapeo y por consideraciones de diseño de la misma, lo que introduce cierto riesgo de sesgo retrospectivo, es decir, de alterar los resultados a partir de distorsiones introducidas en el mecanismo de manipulación de los datos.

En cuanto a la validez externa, es posible que los hallazgos no sean fácilmente generalizables a otro contexto. Incluso, siendo la muestra suficientemente grande, no se omite la posibilidad de que existan sesgos sistemáticos que afecten la validez en la generalización de los resultados. Esto es, de proyectar conclusiones adecuadas para el ámbito de Argentina.

Al mismo tiempo, las organizaciones bajo estudio son todas argentinas, que es uno de los objetivos de esta tesis dada la falta de análisis sistemático previo en este contexto. Sin embargo, ese mismo hecho induce a la cautela antes de generalizar las conclusiones a otros ambientes.

Es importante notar que las referencias de la industria relevadas oportunamente y los resultados de esta encuesta están en consonancia.

5.5. Resumen

Al concluir el análisis de las secciones anteriores, se puede volver sobre las preguntas de investigación planteadas en la sección 5.3

¿Está relacionada en Argentina la adopción de las iniciativas de SPI usando SEI-CMMI™ como modelo de referencia con el tamaño de la organización?

El modelo de referencia SEI-CMMI™ es adoptado con frecuencia creciente cuando la organización es más grande en términos de personal, y esto en la industria del software está directamente relacionado con la cantidad de desarrolladores y la capacidad de producción que ésta

tendrá. Es decir que hay una relación entre el tamaño de la organización y la frecuencia de adopción de SEI-CMMI™. Esto es consistente con un modelo de retorno de la inversión producida por una erogación inicial relativamente grande, fija e independiente del tamaño de la organización, que se recupera en la operación posterior por el incremento de la productividad. Ante un modelo de esa índole, las organizaciones de mayor tamaño tendrán más retornos en su inversión y, por lo tanto, más aliento para hacerla.

¿Cómo compara la adopción de iniciativas de SPI en Argentina utilizando SEI-CMMI respecto al uso de ISO-9000 en la misma población?

Las organizaciones de menos de 40 personas parecen preferir otros modelos de referencia que SEI-CMMI™; en el caso de esta encuesta ISO-9000. Esto sugiere que es necesaria una inversión menor para operar bajo este marco, pero también hay un retorno menor posterior a su adopción. También hay evidencia que sostiene la conjetura que el uso de otros modelos de referencia, aparte de SEI-CMMI™ e ISO-9000, no es relevante en Argentina.

¿Está relacionada la adopción de iniciativas referenciadas en SEI-CMMI™ con el conjunto de variables independientes y parámetros propuestos?

La adopción de SEI-CMMI™ puede modelarse como causa (las mejores prácticas ocurren como resultado del uso) y como consecuencia (las prácticas pronostican la adopción de SEI-CMMI™). Dado el objetivo de investigación propuesto es conveniente en éste análisis utilizar el segundo punto de vista.

Se identifica la dependencia en la adopción de SEI-CMMI™ con variables independientes relacionadas con mayor eficiencia en la operación, tales como *productividad*, *ciclo de trabajo* o *mejoras de proceso*. Al mismo tiempo, sólo se observan dependencias marginales con la operación en mercados offshore.

Por su parte, la adopción de ISO-9000 parece depender de un conjunto de razones enteramente diferentes, tales como la expectativa de *incremento en el ingreso*, la *intención de invertir en calidad*, al mismo tiempo que el deseo de acogerse a los beneficios de la Ley de Software (Ley 25.922). Adicionalmente, ha sido posible detectar dependencias significativas dentro de los límites propuestos entre la utilización de SEI-CMMI™ y la existencia de mejores prácticas relacionadas con *planeamiento de proyecto*, *estimación* y *gestión de riesgo*, mientras que la misma dependencia no es evidente en organizaciones que adoptan ISO-9000. Esto da pie a elaborar una conjetura acerca de las diferentes motivaciones en las organizaciones para adoptar uno u otro. En particular, las organizaciones que adoptan SEI-CMMI™ tienden a adoptar prácticas usualmente asociadas a mejorar la eficiencia de sus operaciones.

Algunas de estas relaciones pueden parecer obvias o incluso son intuitivas, de hecho previstas o referenciadas en el marco teórico. Sin embargo, es valioso el haber podido comprobar con sostén estadístico la existencia de algunas de estas dependencias en Argentina.

La Ley de Software (Ley 25922) parece influir en las organizaciones que planean adoptar SEI-CMMI™, pero no en aquellas que ya lo han hecho. Sin embargo, para el caso de ISO-9000, esta ley afecta tanto a las firmas que ya lo adoptaron como a las que piensan hacerlo. Eso parece sugerir un limitado atractivo de la ley para las organizaciones que ya han realizado sus iniciativas SPI. Esto permite esbozar la conjetura que los beneficios que esta ley prevé para el segmento más maduro no son quizás atractivos para su consideración. El foco en productividad, ciclo de proyecto, mejora de procesos y actividad offshore influencia en el uso de SEI-CMMI™, mientras que ISO-9000 parece ser dependiente de expectativas de mayor ingreso y la intención de realizar inversiones en calidad. Este comportamiento puede responder a objetivos más modestos en las organizaciones más pequeñas que son resultado de su limitada capacidad de inversión. La utilización de SEI-CMMI™ tiene relación significativa con el uso de prácticas, tales como planeamiento de proyectos, métodos de estimación o gestión de riesgo en el ámbito relevado.

“En Dios confiamos, el resto que traiga datos...”

W. Edwards Deming

Capítulo 6 Relevamiento de perfiles SPI en Argentina

En los capítulos anteriores se formuló un modelo conceptual para evaluar la factibilidad de la inversión en SPI basado fundamentalmente en dosis similares de referencias bibliográficas y experiencia. Un número de factores ha sido incluido, o en ocasiones excluido, de ese modelado fundamentándose en relaciones conocidas y aceptadas en ingeniería de software. Otro grupo de consideraciones sólo aparecen debido a la aplicación de criterios de análisis económico-financiero para incorporar el efecto del tiempo y el riesgo. La aplicación de factores y sus relaciones requieren calibración, preliminarmente usando datos de Argentina, al mismo tiempo que varias hipótesis requieren comprobación empírica.

Un primer intento, y con ese objetivo, fue realizado en el Capítulo 5. Se ha utilizado, al efecto, un instrumento de buen poder estadístico, como lo es una encuesta de alcance nacional. Sin embargo y a causa de su misma naturaleza amplia, esta encuesta sólo es capaz de aportar evidencia sobre un número limitado de las cuestiones en discusión. Aún así, contribuye a confirmar alguna de las conjeturas y también proporciona datos que luego serán utilizados en la validación del modelo una vez que sea construido.

Esta investigación requiere intentar una aproximación más directa a la comprobación de las hipótesis. Desafortunadamente, no hay estudios previos o encuestas de esta naturaleza en Argentina que sean públicas y sobre las que se pueda trabajar. Sólo hay expresiones aisladas de organizaciones que transitaban inversiones en SPI y expusieron sus experiencias en un formato orientado a difundir casos de mejores prácticas.

Se aborda, entonces, el desafío de intentar un primer esfuerzo para estudiar las organizaciones que realizaron inversiones en SPI con instrumentos diseñados específicamente para contribuir a esta investigación. Los resultados, que deben ser considerados preliminares, son compartidos en este capítulo. Algunos análisis estadísticos son factibles dentro de márgenes de error altos pero conocidos. Finalmente, es posible extraer y compartir algunas conclusiones.

La revisión de la literatura identifica que el principal modelo adoptado a escala global como guía para esfuerzos en SPI es SEI-CMMI™. La información relevada en el Capítulo 5 sobre los perfiles predominantes en Argentina también confirma este supuesto. Debido a ello, se utilizará en el resto del trabajo de investigación el modelo SEI-CMMI™ como principal foco de estudio.

6.1. Introducción

Durante la descripción del modelo conceptual en el Capítulo 4 se identificaron factores y relaciones basadas en la revisión bibliográfica, extrapolando los resultados al escenario argentino, con la hipótesis implícita de su validez. El relevamiento bibliográfico no detecta antecedentes de un modelo que evalúe el esfuerzo en SPI desde la perspectiva de una inversión y la creación de valor como su resultado. Es necesario, entonces, recurrir a la experiencia para fundamentar la inclusión de cada factor o conjeturar sobre su influencia.

Es necesario trabajar empíricamente sobre las hipótesis realizadas. Para ello, se recolectarán datos en Argentina, ámbito identificado como fuente preliminar de los datos para realizar la calibración y validación del modelo. Para ello, se elabora una encuesta de alcance nacional realizada en cooperación con CESSI, entre organizaciones dedicadas al desarrollo de software en Argentina que han realizado iniciativas SPI. Fueron incluidos en la encuesta tanto participantes de origen nacional como internacional.

Hasta ahora, los esfuerzos de investigación fueron realizados recurriendo a fuentes de distintos mercados desarrollados y emergentes, siendo extrapolados sus resultados al escenario de Argentina con la hipótesis implícita de su validez. Muy pocas fuentes han abordado sistemáticamente el análisis del perfil de compañías operando en Argentina en lo que respecta a SPI.

En este capítulo se describen los datos recolectados y como fueron procesados, de manera de realizar una primera comprensión integradora del comportamiento de las empresas en Argentina, en relación a las diferentes variables asociadas con esfuerzos de mejora de procesos utilizando como guía el modelo de referencia SEI-CMMI™.

6.2. Estrategia de Investigación

El número de organizaciones en Argentina que, al presente, han realizado evaluaciones formales bajo el marco SEI-CMMI™ es pequeño en términos absolutos, al menos comparado con otros mercados emergentes tales como la India y China. Al mismo tiempo, no todas las organizaciones desean compartir los resultados de sus esfuerzos de SPI o, incluso, en ocasiones tienen políticas internas que restringen difundir esa información. En esencia, temen compartir información propietaria que pueda representarles un daño competitivo en caso de ser difundida.

El desafío consiste en diseñar un instrumento, una encuesta, que capture la información esencial a partir de un número muy limitado de preguntas. Entran en juego factores psicométricos que, de no ser observados, disminuyen la probabilidad que la encuesta sea contestada si su longitud

es percibida como grande [Kasunic2005].

Además, se la debe diseñar adecuadamente de modo de incrementar la probabilidad de obtener el mayor número posible de respuestas a partir que su llenado no represente una carga de tiempo significativa. Finalmente, se deben capturar los datos en rangos que preserven información competitiva pero, al mismo tiempo, tengan la resolución suficiente para permitir un análisis razonable de los resultados; se ha debido recolectar datos sabiendo de antemano que la precisión sería limitada, teniendo como alternativa no tener dato alguno.

El cuestionario tiene por audiencia los niveles ejecutivos de las organizaciones encuestadas que son responsables de las iniciativas SPI. Se espera que este enfoque provea la cantidad suficiente de datos válidos para alcanzar objetivos mínimos de precisión en la evaluación de los resultados, tornando las conclusiones confiables y útiles.

6.3. Creación de la Encuesta

Ciolkowski [Ciolkowski2003] identifica desafíos específicos en el diseño y realización de encuestas en ingeniería de software derivados directamente de la naturaleza de las prácticas y la relativamente poca madurez del dominio de conocimiento. Para implementar encuestas que soporten una investigación, Kasunic recomienda alinear la misma con los objetivos de investigación perseguidos, identificar la audiencia, armar el plan de muestreo, definir la encuesta, escribir y distribuir el cuestionario, analizar los resultados y finalmente reportar los mismos.

La descripción de los pasos realizados se discute en las siguientes secciones.

6.3.1. Objetivos de Investigación

El objetivo de esta investigación será analizar los resultados obtenidos por las organizaciones en Argentina cuando realizan esfuerzos de SPI utilizando SEI-CMMI™ como modelo de referencia. Las preguntas de investigación se derivan de la necesidad de completar el trabajo realizado en el Capítulo 4 de forma de poder confirmar las premisas adoptadas y evaluar las hipótesis formuladas. Las principales preguntas de investigación son:

- *¿Cómo son el esfuerzo y el tiempo de implementación de SPI bajo el modelo de referencia SEI-CMMI™, de acuerdo al nivel de madurez abordado?*
- *¿Cómo se relacionan el esfuerzo y el ciclo de implementación con el tamaño de la organización?*
- *¿Cuáles son las preferencias de horizonte de inversión admisible para las organizaciones cuando realizan iniciativas de SPI?*
- *¿Identifican las empresas impactos en sus costos y ciclos de trabajo después de implementar las iniciativas?*
- *¿Existen mejoras en la productividad, los ingresos y las características de entregas luego de implementar las iniciativas de SPI?*
- *¿Se encuentran otras mejoras organizacionales no previstas luego de implementar iniciativas de SPI?*

6.3.2. Audiencia

La encuesta intenta reunir información de la mayor cantidad posible de compañías que hayan sido evaluadas formalmente en algún nivel SEI-CMMI™ en Argentina. Se utilizaron tanto registros formales como informales para identificar organizaciones candidatas y los respectivos responsables dentro de las mismas. En unos pocos casos, los contactos fueron ejecutivos de alto rango responsables de la operación o la gerencia general de las compañías, mientras que en el resto fueron los gerentes de calidad o procesos responsables de implementar y gestionar los esfuerzos de SPI.

Se realizó una validación preliminar con la mayoría de las compañías para confirmar que respondían al perfil objetivo y su voluntad de participar. En cada caso, se explicitó la naturaleza confidencial en el tratamiento de los datos obtenidos y el marco académico de la iniciativa. Estas acciones aseguraron que las respuestas fueran provistas por los estratos de decisión involucrados con la implementación de iniciativas de SPI en las organizaciones encuestadas.

6.3.3. Diseño del Plan de Muestreo

Si bien sería ideal realizar un censo de todas las organizaciones con evaluaciones formales SEI-CMMI™ en Argentina, esto no es factible con los recursos disponibles para realizar este trabajo. Además, sería improbable tener éxito, dados los deseos de algunos participantes de no hacer públicos sus datos internos. Debido a esto, se realizó una encuesta sobre una muestra que se presume representativa de las empresas en el perfil objetivo. En términos estrictos, el muestreo

realizado no fue al azar y, por lo tanto, las conclusiones sólo se pueden aplicar a las organizaciones incluidas en el mismo.

Sin embargo, el uso de los datos es considerado aceptable para extraer conclusiones sobre la población, dado que las organizaciones fueron invitadas a participar sin tener que cumplir otra condición que el deseo de participar y el tener una o más evaluaciones SEI-CMMI™ completas.

Deliberadamente, se excluyen del estudio aquellas organizaciones que estuvieran planeando o en vías de ejecutar inversiones en SPI. La certificación formal es utilizada como una referencia objetiva que la organización está en condiciones de aportar hechos y no suposiciones o proyecciones sobre temas no implementados aún.

Teniendo en cuenta estas suposiciones, se realizarán generalizaciones con la evidencia aportada por la muestra como si se originaran a partir de una muestra al azar.

De acuerdo a los registros del SEI, al momento de la encuesta había 47 organizaciones en Argentina con evaluaciones vigentes en SEI-CMMI™, con nivel 2 o superior. Se trata de determinar sobre esa población cuál sería el tamaño de muestra mínimo a fin de lograr resultados que sean significativos. Hay que tener presente, que esta dimensión define la *precisión* y los *intervalos de confianza* y hay que definir dentro de qué límites serán aceptables los resultados.

Cochran [Cochran1977] recomienda utilizar una estimación del *tamaño de la muestra* (n_0) para una población grande dada por:

$$n_0 = \frac{Z^2 \times p \times q}{e^2} \quad \text{Ec 70}$$

Donde los factores serán *tamaño de la muestra* n_0 , *valor de la variable aleatoria* Z distribuida normalmente para el nivel de confianza basado en una distribución normal y dado por la Tabla 6-1, *proporción del atributo presente en la población* p y *proporción de la población donde el atributo no está presente* ($q=1-p$) y, finalmente, el *nivel de precisión* e tal como es explicado posteriormente en la Ec 73.

Z	Confidencia
0.70	75%
1.96	95%
2.58	99%

Tabla 6-1 Niveles de confianza para una variable aleatoria Z exhibiendo distribución normal

Para los cálculos se utilizará un valor de la variable $Z=1,95$ correspondiente a una confianza del 95%. Además, cuando no se conoce la distribución de la población (no se conoce el producto $p \times q$), se toma el máximo $p \times q \approx \frac{1}{4}$

El *tamaño de la población* N_u es irrelevante en el cálculo del tamaño de la muestra para poblaciones grandes. Desafortunadamente, la población total objetivo no se puede considerar como grande en este caso, por lo que es necesario realizar correcciones. Para tal fin, Kish [Kish1995] recomienda la aplicación de un *factor de corrección de poblaciones finitas* f_{pc} dado por la Ec 71, que mide la mejora en la precisión a medida que el tamaño de la muestra se incrementa y se aproxima al tamaño de la población.

$$f_{pc} = \sqrt{\frac{N_u - n_0}{N_u - 1}} \quad \text{Ec 71}$$

Usando este factor, se puede derivar el *tamaño revisado* n_r expresado por la Ec 72. Se recomienda su utilización cuando el tamaño de la muestra estimado inicialmente excede el 10% de la población total, como ocurre en este caso. Entonces, para calcular el tamaño de la muestra revisado se debe utilizar el tamaño real de la población, la que ahora es relevante al no poder aplicarse una hipótesis de población grande.

$$n_r = \frac{n_0}{1 + \frac{(n_0 - 1)}{N_u}} \quad \text{Ec 72}$$

Yamane [Yamane1967] provee un criterio para calcular, por otra vía, el tamaño de una muestra para poblaciones pequeñas. Este método sugiere una fórmula simplificada cuando se puede asumir un intervalo de confianza del 95% y una variación máxima en la muestra. El mismo está expresado por:

$$n_r = \frac{N_u}{1 + N_u \times e^2} \quad \text{Ec 73}$$

Se define como *precisión* e a la medida de cuán cercanas serán las estimaciones basadas en los datos de la encuesta a las características de la población. Este factor definirá el error introducido, al estimar las características de la población a partir de la muestra. La relación entre el *error de muestreo* y la *precisión* está dada por:

$$\text{Error} = 1 - e \quad \text{Ec 74}$$

Usando la estimación de tamaño de muestra indicada por la Ec 72, se requieren 13 respuestas válidas para tener un error de muestreo del 30% en el análisis. Como comprobación, se apela al criterio de Yamane utilizando la Ec 73, que arroja que se necesita un mínimo de 12 respuestas para asegurar un error de muestreo del 25% en el análisis. Este nivel de error puede lucir un poco elevado, pero como primer intento para estudiar un tema previamente no explorado se considera un razonable equilibrio entre la certidumbre de los resultados y el esfuerzo de recolección de la información.

6.3.4. Definiciones operativas

El modelo conceptual elaborado en Capítulo 4 guía el proceso para definir qué variables independientes son relevantes al estudio y qué parámetros pueden influenciar la operación del sistema.

Se elige formular preguntas cerradas con opciones ordenadas como respuestas, a fin de capturar la información necesaria entre distintas organizaciones con algún grado de normalización.

En este caso, se construye la encuesta en base a un total de 14 preguntas usando respuestas estructuradas como una combinación de 2-Likert (Binaria), 3-Likert y 5-Likert. Dos preguntas específicas, relacionadas a SEI-CMMI™ e ISO-9000 respectivamente, requieren que además sean informados atributos adicionales relacionados con sus procesos de implementación. La encuesta como instrumento captura también información sobre las características de los procesos de certificación bajo normas ISO-9000, pero la cantidad de respuestas obtenidas no permitió incluir posteriormente ningún análisis estadísticamente significativo sobre su uso.

A continuación, se describe en mayor detalle la definición operativa de los datos muestreados entre las organizaciones participantes:

- **Tamaño de la Organización.**

Informa el tamaño de la organización en términos del personal técnico directo más áreas de soporte y gestión operativa de proyectos.

- **Realización de evaluación formal usando el modelo de referencia SEI-CMMI™**

Documenta el estado de evaluación bajo el modelo de referencia SEI SW-CMM o SEI-CMMI™. Además, es necesario capturar, para cada caso, los siguientes datos:

- Año en el que obtuvo la evaluación formal indicada.
- Representación utilizada: *por etapas* (S) o *continuo* (C).
- Tipo de modelo: SEI-CMMI™ o SEI SW-CMM.
- Tiempo aproximado insumido, en meses, desde el comienzo de la iniciativa hasta la evaluación positiva.
- Esfuerzo aproximado insumido, medido en meses-hombre, durante la duración del proyecto. Se incluye el esfuerzo de implementación, evaluación y entrenamiento.

En caso que la empresa hubiera alcanzado su nivel actual a partir de varias etapas (por ejemplo, primero SEI-CMMI™ Nivel 2, luego Nivel 3 y posteriormente Nivel 5), se pide indicar cada ciclo por separado. Si para alcanzar un determinado nivel se requirió más de un proceso de evaluación, se pide indicar tiempos y esfuerzos insumidos hasta alcanzar el nivel respectivo.

- **Adhesión a la ley de software 25.922**

Releva si la empresa adhiere a los beneficios de la Ley de Software (25.922). Respuesta binaria.

- **Desarrollos para mercados offshore**

Detecta si la empresa opera parcial o totalmente en mercados de exportación de servicios offshore. Respuesta binaria.

- **Tasa de corte inversiones**

Incorpora el rango de *tasa efectiva anual* (TEA), al cual se le descuentan flujos de caja para evaluar inversiones. Se segmenta en tres rangos entre el 10 y 25%, dejando abiertos el rango inferior para menos del 10% y el superior para más del 25%. El rango es asignado en función de la experiencia, de manera de centrar la escala en valores probables en compañías tecnológicas.

- **Horizonte de inversión en SPI**

Registra el horizonte de tiempo total máximo admisible para la organización para implementar la mejora de procesos y alcanzar el repago de la misma. Se toma como rango posible el horizonte entre 12 y 48 meses; los extremos de la escala Likert se asignan a valores menores y mayores que este rango. Los rangos intermedios se segmentan uniformemente. El rango es asignado de tal manera que la escala incluya los valores que la bibliografía y la validez de la evaluación SEI-CMMI™ hacen suponer como probables.

- **Mejora de ingresos por acceder a nuevos negocios o incrementar negocios existentes.**

Informa si se ha logrado o se planea lograr mejorar los ingresos como resultado de la iniciativa de SPI. Se presume que una iniciativa SPI no producirá pérdidas, por lo que los primeros cuatro intervalos se reparten uniformemente en el rango entre 0 y 30% y el quinto se asigna en forma abierta a mejoras de ingreso superiores al 30%. El rango es asignado en función de la experiencia de cuáles son los tipos de mejoras de ingreso posibles como resultado de una inversión SPI. Las instrucciones de llenado indican que la mejora de ingreso a considerar es consecuencia de la inversión en SPI. Por lo tanto, se realizarán implícitamente durante el horizonte de inversión.

- **Mejoras de productividad**

Reúne información sobre la existencia del plan para mejorar la productividad como fruto de la iniciativa de mejora de procesos de software. Se establece una escala donde el punto medio captura que no hubo cambios en la productividad, los puntos inmediato inferior y superior capturan deterioros y mejoras de hasta el 10% en la productividad. Finalmente los extremos de la escala capturan en forma abierta cambios más importantes, en ambos

sentidos, de la productividad. El rango es definido de tal manera de capturar los impactos pronosticados por la bibliografía, pero al mismo tiempo observando si existen bases para considerar que el despliegue en SPI haga a la empresa menos “ágil” o productiva.

- **Mejoras en certidumbre de proyectos**

Se pide evaluar el impacto positivo, neutro o negativo que tiene la iniciativa SPI en la certidumbre de cumplir costos y plazos planeados. Se interpretará como “*impacto negativo*” al incremento de plazos o costos respecto de lo planeado, y como “*impacto positivo*” la reducción de plazos o costos, mientras que “*impacto neutro*” implicará que no han tenido variaciones significativas.

- **Mejoras en imagen organizacional.**

Trata de determinar si existe un plan para mejorar la imagen organizacional a partir del proyecto de SPI. Respuesta binaria.

- **Mejoras en satisfacción del staff**

Reúne información sobre la mejora en la satisfacción del personal como fruto del proyecto de SPI. Respuesta binaria.

- **Mejoras en satisfacción de clientes**

Teniendo en cuenta el proyecto SPI, averigua los logros sobre la mejora en la satisfacción de clientes. Respuesta binaria.

- **Mejoras en madurez organizacional**

Apunta a obtener información sobre la mejora en la madurez organizacional a partir de la iniciativa de SPI. Obviamente, esta pregunta es propensa a subjetividad al ser respondida, lo que puede influir en la validez del análisis a ser realizado. Respuesta binaria.

6.3.5. Diseño del Cuestionario

Como criterio de diseño, el cuestionario se limitó a una carilla de extensión, de este modo se intenta maximizar la posibilidad de que sea contestado [Kasunic2005]. Se agrega al formulario de la encuesta un glosario detallado de términos e instrucciones de llenado con los criterios que deben ser tenidos en cuenta en cada pregunta. Se realizan, previamente a su distribución, pruebas locales de llenado con personal entrenado en temas de calidad y familiarizados con el modelo SEI-CMMI™ para verificar y validar el formulario y sus soportes. Una vez introducidas todas las correcciones resultantes se distribuye el cuestionario.

6.3.6. Distribución del Cuestionario

Se creó un paquete formado por una carta de presentación, el cuestionario mismo e

instrucciones de llenado. Se utilizaron dos canales para distribuir la encuesta. Por un lado, el grupo de calidad de CESSI, quien distribuyó la encuesta entre las organizaciones miembro y reunió parte de las respuestas. Algunas compañías recibieron el formulario sin haber sido contactadas previamente y otras, enteradas de la iniciativa, decidieron participar espontáneamente. Por otro lado, se enviaron los cuestionarios en forma directa a compañías validadas a partir de los contactos identificados para intentar incrementar el número total de respuestas.

La información detallada sobre la descripción y el glosario de términos puede ser vista en el Apéndice G. Los datos obtenidos propiamente dichos pueden revisarse en el Apéndice C.

Las organizaciones, a su elección, podían proporcionar la respuesta directamente o a través del CESSI, donde eliminaron sus datos de identificación para preservar el anonimato.

6.4. Marco del análisis

Los datos recolectados fueron procesados usando el paquete de análisis estadístico *MiniTab* v14.2. Un total de 19 organizaciones recibieron el cuestionario, de las cuales 17 hicieron llegar su respuesta, incluyendo presentaciones espontáneas, a través de los diferentes canales disponibles.

Cuatro respuestas pertenecían a organizaciones que no habían realizado esfuerzos en SPI o éstos habían sido realizados sin utilizar SEI-CMMI™ como modelo de referencia. Las mismas fueron desechadas para el análisis. El número total de organizaciones incluidas en el análisis fue entonces de 13 (76,47%).

Usando el criterio de Cochran, el error del análisis estará en torno al 30%, mientras que usando el criterio de Yamane éste será mejor que el 25%. Un error menor hubiera sido deseable pero, de todas formas, se considera adecuado para una primera aproximación sistemática al objeto de investigación.

El margen de error aceptado es importante y además el tamaño de la muestra es muy pequeño, sobre una población también muy pequeña, por lo que se puede estimar que su potencia estadística no será alta. Por lo tanto, si se intenta hacer muy restrictivo el intervalo de confianza (α), para evitar los errores de Tipo I, esta acción deteriorará la capacidad del análisis de evitar errores de Tipo II. Por ello, se aceptará un valor $\alpha=0,05$ en todas las evaluaciones estadísticas realizadas como una forma de balancear los riesgos de obtener “falsos positivos” y “falsos negativos”.

La distribución de niveles SEI-CMMI™ en la muestra obtenida, comparada con los registros provistos por el SEI, puede ser observado en la Tabla 6-2. Se cuenta con el número de organizaciones que han sido exitosamente evaluadas en la Argentina para cada nivel SEI-CMMI™ según la base de datos del SEI (“Data Base SEI”) y, para el mismo nivel, cuántas organizaciones han respondido la encuesta (“Encuesta”). Los niveles 2 y 3 de madurez han sido agrupados como de

madurez “Básica” mientras que los niveles 4 y 5 lo han sido como de madurez “Alta”.

Madurez	Nivel SEI-CMMI	Data Base SEI		Encuesta	
		Organizaciones	% Tot	Respuestas	%Tot
Básica	Nivel 2	31	89.0%	8	76.9%
	Nivel 3	10		2	
Alta	Nivel 4	2	10.8%	1	23.0%
	Nivel 5	3		2	

Tabla 6-2 Comparación entre poblaciones de muestra y data base SEI para Argentina

En la experiencia, los procesos de mejora de madurez distinguen a los niveles de madurez básica de los de alta madurez. Es razonable que una organización decida si su primer nivel de madurez será 2 ó 3, pero será fuertemente desaconsejada de intentar alcanzar directamente niveles 4 ó 5. Si bien por motivos corporativos, históricos o culturales hay organizaciones que han podido ser evaluadas directamente en nivel 5 de SEI-CMMI™ como primer intento, la práctica indica que no son casos frecuentes. Incluso los profesionales certificados para evaluar organizaciones en niveles 4 y 5 deben cumplir exigencias superiores. Conceptualmente, el SEI impulsa el modelo de referencia como un esquema de agregación de capacidades, donde la institucionalización opera con un cierto componente de decantación, optimización y asentamiento por el ejercicio real de los procesos.

Es importante entender hasta qué punto la muestra realizada es representativa de la población de Argentina. Una forma de hacerlo es verificar si la proporción de organizaciones en los grupos de madurez básica y alta son comparables entre la muestra y lo que refleja el inventario de organizaciones registradas por el SEI en su base de datos.

Para verificar si las distribuciones son iguales se analiza la igualdad de sus promedios mediante un test de dos muestras (*2-sample T test*); este análisis provee insuficiente evidencia para rechazar la hipótesis nula ($p\text{-value}=0,319$) de igualdad entre las distribuciones con una confianza de $\alpha=0,05$. Por lo tanto se puede presumir igualdad lo que, a su vez, sirve como base para considerar que las proporciones de la muestra y los datos del SEI pueden ser consideradas similares.

Una inspección adicional refleja una participación ligeramente más elevada en la muestra de organizaciones de alta madurez (niveles SEI-CMMI™ 4 y 5) respecto a lo que se advierte en los registros del SEI. Si bien se contempla esta diferencia para una futura observación, no se la considera suficientemente significativa para invalidar las conclusiones obtenidas a partir del análisis de la encuesta.

6.5. Esfuerzo y tiempo para implementar

Uno de los principales objetivos de la encuesta es la posibilidad de caracterizar el esfuerzo y

tiempo de implementación experimentados por organizaciones de Argentina para desplegar iniciativas de mejora de procesos basadas en SEI-CMMI™.

Se apela a normalizar tanto el esfuerzo como el tiempo de implementación, expresándolo en términos de cada nivel de mejora. También se analizan por separado las iniciativas donde el resultado final correspondió a un estado de madurez básica o alta, según las definiciones previamente realizadas. Además, se evalúa si existen diferencias significativas entre ambos grupos analizando las respuestas en conjunto.

Los resultados pueden verse en la Tabla 6-3, donde se muestra para ambas variables: el promedio (μ) y la desviación estándar (σ).

V ariable	Madurez Alta (Nivel 4 & 5)	Madurez Básica (Nivel 2 & 3)	Ambos Grupos	Rango
Tiempo para Implementar (por Nivel) [Meses]	$\mu=15.28$ $\sigma=6.55$ p-value=0.213	$\mu=19$ $\sigma=7.66$ p-value=0.542	$\mu=17.55$ $\sigma=7.29$ p-value=0.336	min=8 max=36
Esfuerzo para Implementar (por Nivel) [Personas/Mes]	$\mu=68.17$ $\sigma=44.91$ p-value=0.488	$\mu=58.25$ $\sigma=29.57$ p-value=0.43	$\mu=62.11$ $\sigma=35.37$ p-value=0.193	min=18 max=143.8

Tabla 6-3 Esfuerzo y Tiempo de implementación por nivel SEI-CMMI(TM)

Ya sea agrupando por grupo de madurez o consolidando todos los datos en un único grupo, todas las distribuciones pasan el test de *Anderson-Darling* siendo el p-value del método incluido en el cuadro. Este método evalúa si una distribución es normal, y para hacerlo se realiza un test de hipótesis donde la condición nula es que la distribución es normal mientras que la alternativa es que no lo es. Por lo tanto, cuando el resultado (p-value) es menor que el nivel de confianza elegido, en este caso $\alpha=0,05$, existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y, por lo tanto, se puede asumir que la distribución no es normal. En este caso, todas las distribuciones tienen p-value resultantes por encima del nivel de confianza elegido. Por lo tanto, la probabilidad de cometer un error al rechazar la hipótesis nula es alta y se pueden considerar normales. Es importante estudiar si la distribución de un determinado conjunto de datos es normal, puesto que posibilita la aplicación de un conjunto más amplio y más potente de herramientas estadísticas.

Habiendo distinguido entre los grupos de madurez básica y alta cabe preguntarse si el tiempo de implementación y el esfuerzo por nivel son realmente diferentes entre ambos, es decir si hay diferencias estadísticamente significativas. Para ello, se hace un test donde la hipótesis nula es

que son iguales mientras que la alternativa es que no lo son. Con un nivel de confianza $\alpha=0,05$ el resultado es que la hipótesis nula no puede ser rechazada ni en el caso del esfuerzo por nivel ($p\text{-value}=0,503$) ni en el tiempo de implementación por nivel ($p\text{-value}=0,922$). Esto nos permitirá considerar que tanto el tiempo de implementación por nivel como el esfuerzo requerido por nivel de madurez son factores independientes del nivel SEI-CMMI™ alcanzado.

6.6. Tamaño de la organización

La distribución del tamaño de la organización respecto al nivel SEI-CMMI™ se obtiene según lo expuesto en la Tabla 6-4, donde para cada rango de número de empleados se captura la información sobre el número de organizaciones que alcanzaron los diferentes niveles de madurez.

Rango		Evaluado SEI CMMI™				Argentina (CESSI07)	Frec (%) CMMI	Frec (%) Argentina
Min	Max	L2	L3	L4	L5			
	<10					36	0.0%	32.4%
10	25	1				33	7.7%	29.7%
26	50	2				26	15.4%	23.4%
51	100	1			1	9	15.4%	8.1%
>100		4	2	1	1	7	61.5%	6.3%
		61.5%	15.4%	7.7%	15.4%			

Tabla 6-4 Distribución del tamaño de organización

Los datos colectados muestran que el 75% de las organizaciones en la muestra tienen un tamaño de 50 personas o más. Estos valores se comparan con el perfil de compañías obtenido de la encuesta anual 2007 de CESSI (*Argentina CESSI07*), discutida en el Capítulo 5, que incluye un espectro más amplio de organizaciones en Argentina. El perfil muestra, claramente, una frecuencia diferente en la encuesta bajo estudio ("*Frec(%) CMMI*") que la capturada en la de nivel nacional ("*Frec(%) Argentina*"). Esta comprobación es importante porque nos dirá si la cantidad de organizaciones obtenidas en cada segmento de tamaño se corresponden con la frecuencia observada a escala nacional. De no hacerlo, significa que el tamaño influencia las decisiones de realizar inversiones en SPI usando SEI-CMMI™.

Se comprueba mediante un test de igualdad si ambas distribuciones, es decir, la obtenida con esta encuesta y los datos provenientes de la encuesta general a escala nacional, son iguales. Para ello realiza un test de igualdad que provee evidencia para rechazar la hipótesis nula ($p\text{-value}=0,034$) de igualdad entre ambas. El test comprueba entonces que la distribución en el tamaño de las organizaciones que realizaron SPI es distinta del de la población de organizaciones en el segmento.

Esta desigualdad significa que la frecuencia de adopción de SEI-CMMI™ no es

consecuencia del armado de la encuesta o como se agruparon las organizaciones en los distintos segmentos o rangos utilizados. En realidad, el hecho que las distribuciones no sean iguales significa que la adopción de iniciativas de SPI basadas en SEI-CMMI™ es mucho mayor en organizaciones en la medida que el tamaño de las mismas crece. Ésta es una hipótesis formulada oportunamente y, si bien, ya fue evaluada y contestada en la sección 5.3.1, se lo vuelve a hacer por un mecanismo independiente.

6.6.1. Esfuerzo y tiempo de implementación vs. Tamaño

La evaluación de la relación del esfuerzo o el tiempo de implementación por nivel SEI-CMMI™ y el tamaño de la organización es importante para comprender los efectos de la masa crítica en la población objetivo. Se implementa un GLM, que evalúa la relación entre ambas variables y el tamaño de la organización, el cual termina mostrando una correlación muy débil.

El modelo GLM entre *esfuerzo por nivel* y *tamaño de la organización* muestra como resultado un $p\text{-value}=0,191$ y $\rho^2=0,394$. El $p\text{-value}$ indica, a un nivel de confianza $\alpha=0,05$, que no existe una relación estadísticamente significativa entre ambos factores. El valor de ρ^2 indica que menos del 40% de la variación del esfuerzo por nivel es explicado por el tamaño de la organización. Debido a estos resultados, se considera que esfuerzo por nivel y el tamaño de la organización no están relacionados entre sí.

Al realizar un análisis similar entre tiempo de implementación y tamaño de la organización se obtiene un $p\text{-value}=0,837$ y $\rho^2=0,057$. En este caso, el $p\text{-value}$ también indica que no existe relación estadísticamente significativa entre ambos factores, y el ρ^2 indica que menos del 6% de la variación en el tiempo de implementación está explicado por el tamaño de la organización. En este caso, se concluye que el tiempo por nivel no está relacionado con el tamaño de la organización.

Este resultado tiene implicancias profundas. Si el esfuerzo y el tiempo para implementar no cambian con el tamaño de la organización, el impacto relativo será mayor en las organizaciones pequeñas y, por lo tanto, tendrán un fuerte desaliento a realizar inversiones en SPI.

6.7. Preferencias de horizonte de inversión

El *horizonte de inversión* t_p fue discutido en la Sección 4.7 como una variable independiente importante y refleja el tiempo que la organización está dispuesta a esperar para que las iniciativas de SPI sean desplegadas y obtengan resultados suficientes como para transformar la inversión en rentable. Los resultados obtenidos en la encuesta pueden verse en la Tabla 6-5, donde se muestran los rangos de tiempos aceptables por las organizaciones.

Respuesta	Horizonte de Inversión (tp)	Casos	Frec (%)
1	$t_p \leq 12$ Meses	1	7.7%
2	$12 < t_p \leq 24$ Meses	7	53.8%
3	$24 < t_p \leq 36$ Meses	3	23.1%
4	$36 < t_p \leq 48$ Meses	1	7.7%
5	$t_p > 48$ Meses	1	7.7%

Tabla 6-5 Resultados de horizonte de inversión en la población encuestada.

La inspección visual y los tests de distribuciones provistos por MiniTab sobre estos resultados no permiten identificar que los resultados sigan ninguna función de distribución habitual, tales como *Normal*, *Weibull*, *exponencial* o *gamma*. En ocasiones, los datos obtenidos no obedecen a distribuciones comunes pero sí corresponden a transformaciones de ellos. Se prueba, entonces, una transformación *Box-Cox* sin que aún así emerjan evidencias de una distribución en particular .

No obstante, una gran mayoría de las organizaciones (86,6%) operan con horizontes de inversión de 36 meses o menos, mientras que más del 93% impondrá horizontes de 48 meses o menos a la inversión.

No existe evidencia suficiente para concluir que el tamaño de la organización tiene algún papel en explicar las variaciones de horizonte de inversión. Al tratar de vincular mediante un análisis de *regresión logística ordinal* el horizonte de inversión como función del tamaño de la organización se obtiene que no existe evidencia dentro del valor de confianza $\alpha=0,05$ de relación entre ambos ($p\text{-value}=0,245$). Esto significa que el horizonte de inversión es definido por las organizaciones sin ser el tamaño un factor significativo.

6.8. Impactos en costo y plazos de entrega

Una de las premisas del modelo conceptual es estudiar que la inversión SPI tiene como beneficio un impacto positivo en costos y plazos de entrega (ver Sección 4.5.1). Los resultados se muestran en la Tabla 6-6.

Respuesta	Significado	Casos	Frec (%)
1	Negativo	0	0.0%
2	Neutral	2	15.4%
3	Positivo	11	84.6%

Tabla 6-6 Resultados de Costo y Plazos de Entrega

Estos resultados muestran que una mayoría significativa (84,6%) de las organizaciones reportan mejoras de costo y plazos de entrega, mientras que sólo una proporción menor

reporta resultados neutros (15,38%). Estos resultados marcan que las compañías argentinas obtienen mayoritariamente algún grado de mejora, o al menos de no deterioro, al implementar sus inversiones en SPI. Esto confirma, por su parte, los reportes obtenidos en otras geografías.

6.9. Productividad, ingresos y entregas.

Otro beneficio que requiere validación es si se obtienen beneficios de la inversión en SPI como resultado de tener *mejor productividad* (igual ingreso, menor costo), *mayor ingreso* o *mejora en la certidumbre de las entregas* (reduciendo el riesgo de las mismas). Las respuestas (niveles Likert propuestos) a las distintas preguntas pueden ser vistas en la Tabla 6-7 y los significados de los distintos niveles de la escala Likert para cada respuesta pueden consultarse en el Apéndice G.

Respuesta	Valores			Frecuencia (%)		
	Ingresos	Productividad	Resultados	Ingresos	Productividad	Resultados
1	4	0	0	30.8%	0.0%	0.0%
2	4	1	2	30.8%	7.7%	15.4%
3	3	1	11	23.1%	7.7%	84.6%
4	2	9		15.4%	69.2%	
5	0	2		0.0%	15.4%	

Tabla 6-7 Respuestas sobre productividad, ingresos y resultados de entrega.

Respecto a los ingresos, el 69,2% reporta haber mejorado sus ingresos como resultado del esfuerzo en SPI, de los cuales el 38,5% reporta mejoras significativas (10 al 30% de incremento). En 84,6% de los casos mejora la productividad como resultado del esfuerzo SPI, de los cuales 15,4% lo hace en forma significativa. Finalmente, el 84,6% de las respuestas reportan haber mejorado la certidumbre de alcanzar sus resultados.

Es relevante entender, en este caso, si las respuestas están distribuidas entre las distintas posibilidades o si emerge un patrón que haga predominantes las respuestas “positivas”, en el sentido que se han experimentado mejoras en ingresos, productividad y certidumbre de resultados.

Para averiguarlo, se realiza el test *no-paramétrico de Wilcoxon* de la muestra (*1-Sample Wilcoxon*), donde se asume como hipótesis nula que la mediana de las respuestas son iguales a una mediana hipotética correspondiente al punto medio de las respuestas. La hipótesis alternativa es que ambas son diferentes. Este análisis puede entenderse, en términos cotidianos, como discernir si la distribución de las respuestas puede asociarse dentro de un margen de confianza a la distribución de las preguntas. El resultado puede observarse en la Tabla 6-8, donde se mira por grupos de madurez básica, alta y ambos en conjunto.

Respuesta	p-value		
	Madurez Básica (Nivel 2 & 3)	Madurez Alta (Nivel 4 & 5)	Todos Niveles Madurez
Ingresos	0.011	0.186	0.005
Productividad	0.014	0.186	0.005
Resultados	0.007	0.091	0.002

Tabla 6-8 Mejoras efectivas usando el test de Wilcoxon de 1 prueba

Estos resultados del test muestran que el grupo de organizaciones que alcanzan niveles de madurez inicial (SEI-CMMI Nivel 2 y 3) y el conjunto total de organizaciones proveen evidencia que permite rechazar la hipótesis nula ($p \leq 0,05$). Por lo tanto, hay una mejora estadísticamente significativa en *productividad*, *ingreso* y *resultados* luego de haber realizado el esfuerzo SPI.

Tomados aisladamente, el grupo de alta madurez no muestra resultados alineados con esta conclusión. Esto se atribuye al reducido número de datos disponibles, que perjudican la potencia del test.

Este resultado provee la justificación conceptual para incluir estos factores como beneficios en el modelo conceptual.

6.10. Otras mejoras organizacionales.

Se conjeturó previamente que como resultado de la inversión ocurrirían *mejoras en la imagen organizacional*, *satisfacción del personal*, *satisfacción del cliente* y *madurez organizacional*. Éstas pueden ser asimiladas como beneficios intangibles de la iniciativa de SPI. Para estudiar esta relación se muestran los resultados para la población encuestada en la Tabla 6-9.

Factores Intangibles	Respuestas Positivas (=Si)	Frecuencia (%/Total)
Imagen Organizacional	12	92.3%
Satisfacción del Staff	12	92.3%
Satisfacción del Cliente	10	76.9%
Madurez Organizacional	13	100.0%

Tabla 6-9 Otras mejoras organizacionales

Las respuestas son positivas en más del 92% de las organizaciones en todos los factores con excepción de mejoras en la satisfacción de clientes que obtuvo, aún así, un mayoritario 77%. La pregunta sobre el estado de madurez organizacional refleja que las acciones desplegadas en mejorar

el proceso se difunden al comportamiento de la organización en su conjunto.

Es interesante verificar si las respuestas están relacionadas con el nivel de madurez obtenido. Dicho de otra manera, si las organizaciones que mejoran a niveles básicos obtienen resultados similares a las que mejoran a niveles altos de madurez. Se realiza un test de muestra de Fischer (*Fischer exact test*) sobre la población, explorando si las conclusiones previas están asociadas a los niveles de madurez más altos. El test explora como hipótesis nula que las respuestas positivas son iguales en ambos grupos de madurez, mientras que la hipótesis alternativa mostraría que los resultados positivos están relacionados con un grupo de organizaciones que alcanzó alta madurez únicamente. Se elige un nivel de confianza para el test de $\alpha=0,05$.

El resultado puede verse en la Tabla 6-10, donde el p-value obtenido supera al nivel de confianza elegido y, por lo tanto, no puede rechazarse la hipótesis nula. Esto puede interpretarse como que las mejoras observadas no están asociadas con los niveles más altos de madurez. Por lo tanto, las mejoras son obtenidas por todas las organizaciones que abordan iniciativas de mejora, tanto a niveles básicos como altos de madurez.

Factores Intangibles	Alta Madurez Nivel 4 & 5 (p-value)
Imagen Organizacional	1
Satisfacción del Staff	1
Satisfacción del Cliente	0.52
Madurez Organizacional	1

Tabla 6-10 Relación con alta madurez

También se estudia la concordancia entre las mejoras de proceso y algunas variables independientes y parámetros, con el propósito de determinar relaciones adicionales sugeridas por el conjunto de datos. Para ello, se explora la asociación de datos ordinales, midiendo la concordancia entre distintos conjuntos de valores ordinales.

En este caso, la hipótesis nula utilizada es que la probabilidad de concordancia y discordancia sean iguales, mientras que la hipótesis alternativa es que ambas probabilidades difieran (significando que exista una concordancia). Los resultados se pueden ver en la Tabla 6-11.

Factor	p-value		
	Imagen Organizacional	Satisfacción Staff	Satisfacción Cliente
Tamaño Organizacional	0.78	0.21	<u>0.05</u>
Nivel CMMI	0.21	0.21	0.30
Horizonte de Inversión	0.81	0.27	0.95
Actividad Off-Shore	0.67	0.67	0.16
Adopción Ley 25922	<u>0.00</u>	0.67	0.80

Tabla 6-11 Concordancia entre factores ordinales

En este análisis, cada vez que la comparación de un p-value sea superior al margen de confianza elegido, $\alpha=0,05$ en este caso, indicará que no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y por lo tanto las probabilidades de concordancia y discordancia serán iguales lo que, como se explicó en el párrafo anterior, se puede interpretar como que no hay concordancia entre el par de valores bajo evaluación. Por el contrario, cuando el p-value esté por debajo del margen de confianza elegido, las probabilidades de concordancia y discordancia diferirán, lo que implica que hay una concordancia o relación probable entre el par de valores bajo estudio.

El resultado del análisis sugiere que existe relación entre la imagen organizacional y la adopción de los beneficios de la Ley de Software Argentina (Ley 25.922), como así también entre mejoras observadas en satisfacción del cliente y tamaño de la organización. En ambos casos el p-value es igual o inferior al margen de confianza establecido de $\alpha = 0,05$, se muestran estos resultados subrayados para mejor referencia en la tabla siguiente.

6.11. Amenazas a la Validez

Los datos en este estudio fueron recolectados usando una encuesta especialmente diseñada para el mismo. Ya se discutió previamente la naturaleza no aleatoria de la muestra y las consideraciones que se derivan de ello. Adicionalmente, es indudable que el número de respuestas ha sido pequeño dentro de un grupo poblacional también reducido. Si bien se trabaja con márgenes de precisión dentro de valores aceptables, debe ser considerado como una amenaza a la validez un poco mayor a lo deseable. Por otro lado, esta decisión también es aceptable pues se abordan preguntas previamente no discutidas con un enfoque sistémico a nivel de Argentina.

Las organizaciones pueden estar tentadas de proveer razones que reflejen más su propia imagen antes que su realidad, especialmente cuando se discuten resultados fuertemente asociados a calidad, como los derivados de SPI. Esto se ha controlado parcialmente filtrando datos

inconsistentes o incompletos, incluso a riesgo de reducir la significación del análisis debido al tamaño reducido de la muestra.

Debido a los tiempos de proceso y validación, los datos utilizados para este análisis, recolectados durante el año 2008, tendrán cierta antigüedad al momento de ser publicados y, por lo tanto, algunas respuestas pueden haber cambiado desde entonces.

En un contexto hipotético de jugadores racionales, las decisiones tomadas por las organizaciones son juicios de costo vs. beneficios, cualquiera sea el marco de referencia que la organización adopte para definirlos. Sin embargo, esta perspectiva teórica simple puede ser inválida para organizaciones individuales tomando decisiones sobre el abordaje de SPI, donde puntualmente pueden operar percepciones de beneficios intangibles que, de existir, introducirían diferencias en los resultados del modelo de difícil captura y ponderación.

Con respecto a la validez externa, dadas las características del muestreo realizado, existe la posibilidad que los hallazgos no puedan generalizarse a otros contextos. Por su parte, el tamaño limitado de la muestra puede ocultar sesgos sistemáticos que perjudiquen la generalización de los resultados. Las organizaciones bajo estudio operan en Argentina, lo que es uno de los focos del trabajo teniendo en cuenta la falta de análisis pre-existentes en la misma dirección. Además, los resultados concuerdan en alto nivel con el cuerpo de referencias académicas y de la industria relevadas en las fuentes discutidas en el Capítulo 2 lo que mitiga posibles consideraciones sobre riesgos significativos a la validez externa.

6.12. *Resumen*

Al comenzar el capítulo se explicaron las preguntas de investigación que intentaban ser contestadas por el trabajo de campo. Estas preguntas están a su vez ancladas en las cuestiones discutidas en capítulos anteriores y las hipótesis que se derivan de ellas. Por lo tanto, se puede ahora comenzar el abordaje de algunas de las respuestas.

- ***¿Cómo son el esfuerzo y el tiempo de implementación de SPI bajo el modelo de referencia SEI-CMMI™, de acuerdo al nivel de madurez abordado?***

Tanto el esfuerzo como el tiempo de implementación presentan un rango de valores que obedecen a una distribución normal cuyos valores medio y varianza son los siguientes:

- **Esfuerzo de implementación**, $\mu=62,11$ personas-mes, $\sigma=35,37$ personas-mes, valor mínimo 18 personas-mes y valor máximo 143,8 personas-mes.
- **Tiempo de implementación**, $\mu=17,55$ meses, $\sigma=7,29$ meses, valor mínimo 8 meses y

valor máximo 36 meses.

No se puede probar en ellos dependencias significativas con el nivel de madurez a ser alcanzado, del cual se interpreta que son independientes (Sección 6.5).

El nivel de madurez según el modelo SEI-CMMI™ no explica una proporción significativa del esfuerzo o el ciclo de implementación, por lo que **se rechaza** la Hipótesis II expresada en el Capítulo 4, Sección 4.12.

•¿Cómo se relacionan el esfuerzo y el tiempo de implementación con el tamaño de la organización?

El esfuerzo y el tiempo de implementación son independientes del tamaño de la organización dentro del margen de confianza elegido de $\alpha=0,05$ (Sección 6.6.1). Este tamaño no explica una proporción significativa del esfuerzo o el ciclo de implementación, por lo que **se rechaza** la Hipótesis I expresada en el Capítulo 4, Sección 4.12.

•¿Cuáles son las preferencias de horizonte de inversión admisible para las organizaciones cuando realizan iniciativas de SPI?

El 93% de las organizaciones encuestadas refirió preferir un horizonte de inversión de 48 meses o menor (Sección 6.7); el 86,6% incluso desea un horizonte aún menor de 36 meses.

•¿Identifican las empresas impactos en sus costos y ciclos de trabajo después de implementar las iniciativas?

Sí, el 84,6% de las organizaciones encuestadas identifican impactos positivos en sus costos y ciclos de trabajo. El 15,38% restante indica haber tenido resultados neutros (ni positivos ni negativos) (Sección 6.8). Dentro del intervalo de confianza correspondiente a $\alpha=0,05$ **se aceptan** las Hipótesis III (mejora de plazos de entrega) y IV (mejora de costos) expresadas en el Capítulo 4, Sección 4.12.

•¿Existen mejoras en la productividad, los ingresos y las características de entregas luego de implementar las iniciativas de SPI?

Sí, el 69,2% reporta haber mejorado sus ingresos, el 84,6% su productividad y 84,6% la certidumbre de los resultados. Dentro del intervalo de confianza correspondiente a $\alpha=0,05$ **se**

aceptan las Hipótesis V (mejora de productividad), VI (mejora de ingresos) y VII (mejora de certidumbre de resultados) expresadas en el Capítulo 4 Sección 4.12.

•¿Se encuentran otras mejoras organizacionales no previstas luego de implementar iniciativas de SPI?

Sí, el 92,3% reporta mejoras en la imagen organizacional, también 92,3% reporta mejoras en la satisfacción de su personal, 76,9% mejoras en la satisfacción de sus clientes y el 100% reporta mejoras en la madurez de su organización como conjunto. Dentro del intervalo de confianza correspondiente a $\alpha=0,05$, **se aceptan** las Hipótesis VIII (mejora de imagen organizacional), IX (mejora de satisfacción de clientes) y X (mejora de satisfacción de empleados) expresadas en el Capítulo 4, Sección 4.12.

En el Capítulo 4, Sección 4.12, se sumaron las hipótesis que requerían validación empírica. La investigación de campo documentada en este capítulo echa luz sobre algunas de estas cuestiones.

Finalmente, la ausencia de relación entre el esfuerzo o ciclo de implementación por nivel y el tamaño organizacional, conduce a un modelo de costos de implementación aproximadamente constantes. Debido a esto, las estructuras más pequeñas requerirán sacrificios relativos mayores que organizaciones más grandes para alcanzar un nivel dado de madurez. Se puede entender esta característica como una de las razones para la frecuencia de adopción relativamente baja de SEI-CMMI™ en las organizaciones más pequeñas en la encuesta. Esto, a su vez, es consistente con los hallazgos obtenidos en el Capítulo 5.

Las preferencias de horizonte de inversión muestran la necesidad que el ciclo total, incluidos tiempos de despliegue y recupero, dure 48 meses o menos. Con tiempos de implementación promedio por nivel de 18 meses, el tiempo total para recuperar la inversión es del mismo orden para mejorar un nivel de madurez y prácticamente no queda margen para recuperar la inversión cuando la mejora que se intenta es de dos niveles de madurez. Este es un factor relevante para explicar el comportamiento de pequeñas compañías en cuanto a la adopción de SEI-CMMI™.

Las mejoras reportadas en productividad, ingresos y certidumbre de entregas emergen como resultado del esfuerzo de SPI guiado por SEI-CMMI™, confirmando los resultados reportados en otras geografías. Al mismo tiempo, se sostiene la validez de extrapolaciones realizadas con datos obtenidos en contextos diferentes al medio argentino.

Se encuentra una buena correlación entre la imagen organizacional, la satisfacción del

personal, la satisfacción del cliente y la madurez organizacional, como resultado del esfuerzo de mejora de madurez. Esto justifica la inclusión de estos beneficios intangibles cuando se formula un caso de negocios para evaluar la conveniencia de abordar una iniciativa SPI.

Se encuentra una relación entre satisfacción del cliente y tamaño organizacional que, si bien puede requerir datos adicionales para ser completamente comprendida, se puede vincular a la actitud más madura hacia prácticas de cuidado de clientes (customer care) en organizaciones más grandes.

Al mismo tiempo, la relación entre imagen organizacional y la adopción de los beneficios provistos por la Ley de Software de Argentina, puede ser interpretada preliminarmente como un intento de mejorar la percepción imperante en los profesionales y cuadros directivos sobre la viabilidad en el resultado de inversiones en SPI, así como aprovechar el contexto creado por esta ley para alcanzar este objetivo.

“El real contraste entre la ciencia y los mitos se alcanza cuando decimos que sólo la ciencia es susceptible de verificación”

George Santayana

Capítulo 7 Implementación y validación del modelo

El objetivo de la construcción de un modelo es disponer de una versión ejecutable, en una plataforma razonablemente flexible, que permita explorar distintos escenarios que nos ayuden a comprender mejor el sistema real bajo estudio. Como en casi todos los problemas de ingeniería, hay más de una solución posible, y este caso no es una excepción. La programación de un modelo complejo en un primer intento, llevará seguramente a tener una solución inflexible, con defectos y cuya utilidad sea limitada.

Un método mejor es construir el modelo en aproximaciones sucesivas. Para hacerlo, se comienza con una versión simplificada llamada “*diagrama causal*”, donde se pueden estudiar los factores y las principales relaciones entre ellos mientras se comprende mejor cómo combinarlos.

Luego, para cada factor candidato, es necesario definir cómo será representado, cuáles son los valores o las distribuciones de valores que, en base a la evidencia empírica, es conveniente asignarles. Finalmente, cuáles son los mejores instrumentos de representación en la herramienta que se use como plataforma. Se utilizan varias herramientas durante el ejercicio de construcción, cada una de ellas con alguna característica que la hace más apta para un análisis en particular. El cambio de herramientas debe sopesarse con cuidado, puesto que en ocasiones también implica adaptar o cambiar las representaciones utilizadas, debido a la presencia o ausencia de funciones entre distintas plataformas. Por su parte, la transcripción de una herramienta a otra implica el riesgo de inyectar defectos adicionales en la representación del modelo.

Las relaciones individuales del modelo son implementadas y probadas verificando los resultados en cada paso. Finalmente, el modelo completo es ensamblado y está en condiciones de representar el sistema real dentro de los alcances que se le han definido.

Para comprender hasta qué punto el modelo está bien implementado, y cuál es su posibilidad de reproducir al sistema real, se realizan pasos de verificación primero, y validación posteriormente.

El conjunto de nociones teóricas de los primeros tres capítulos, el modelo formulado en el Capítulo 4 junto con la evidencia empírica discutida en el quinto y sexto serán consolidados en este capítulo.

7.1. Introducción

Siguiendo con la secuencia metodológica, se está en condiciones de proceder a la etapa de *programación o implementación* del modelo conceptual. El resultado de esta etapa es un modelo que es capaz de ser ejecutado para evaluar sus resultados.

El conjunto de factores y relaciones discutidas hasta el momento constituyen los requerimientos *funcionales* del modelo, esto es, la descripción sobre *qué* debe ser modelado.

Por su parte, el conjunto de condiciones relativas a cómo el modelo será implementado en una herramienta y qué condiciones deberá cumplir formarán los requerimientos *no-funcionales*. Estos últimos serán, en general, aquellos que tengan en cuenta la capacidad de la plataforma (procesador, memoria, etc.), *usabilidad* y tiempo de procesamiento. Los requerimientos no funcionales son modestos y razonables. Consisten, básicamente, en que el modelo se ejecute exitosamente en tiempos del orden de algunos minutos por escenario, en la configuración de procesador y software de base recomendada para los distintos paquetes de software empleados. Se requiere que el modelo tenga, en caso de ser necesario, flexibilidad para la inclusión de nuevas variables independientes, y la posibilidad de manipular los valores de variables intermedias para realizar el análisis de sensibilidad.

Se realizará como primer paso el diagrama causal, donde se evaluará, en alto nivel, los factores y relaciones a implementar. De esta forma, se puede hacer un primer análisis dimensional a modo de verificación del modelo conceptual.

A continuación, se implementará el modelo ejecutable propiamente dicho, donde todos los factores y sus relaciones serán descriptas en detalle y programadas. Al mismo tiempo, se agregarán controles que contribuyan a hacer robusta la ejecución.

7.2. Diagrama causal

El primer paso en la implementación de un modelo dinámico es realizar un borrador en alto nivel, en la forma de un sistema de primer orden, es decir, de un sólo nivel de representación, donde se observen las principales variables dependientes, parámetros y variables independientes así como el tipo de relaciones que tendrán entre sí. Este borrador recibe el nombre de *diagrama causal* debido a que expone las relaciones de causa-efecto.

Los diagramas causales constituyen un mecanismo para representar las estructuras cíclicas del modelo cuya topología emplea para su desarrollo flujos, niveles y elementos auxiliares organizados en una red consistente.

Los diagramas causales juegan dos roles importantes en los estudios de los sistemas dinámicos. Primero, durante el desarrollo del modelo, sirven como un esquema preliminar de las

hipótesis causales. Segundo, pueden simplificar la ilustración del modelo. En ambos casos, los diagramas causales permiten al constructor del modelo estudiar y comunicar rápidamente la percepción estructural del sistema. Frecuentemente, la diagramación de los lazos causales ayuda al modelador a conceptualizar los sistemas del mundo real en términos de lazos de realimentación.

Se elige VenSim PLE versión 5.8d (licencia académica) como herramienta para implementar el diagrama causal. Esta versión es adecuada para propósitos de investigación y presenta facilidades para la construcción con herramientas visuales del modelo en sus distintas etapas. Un primer diagrama causal puede verse en la Figura 7-1.

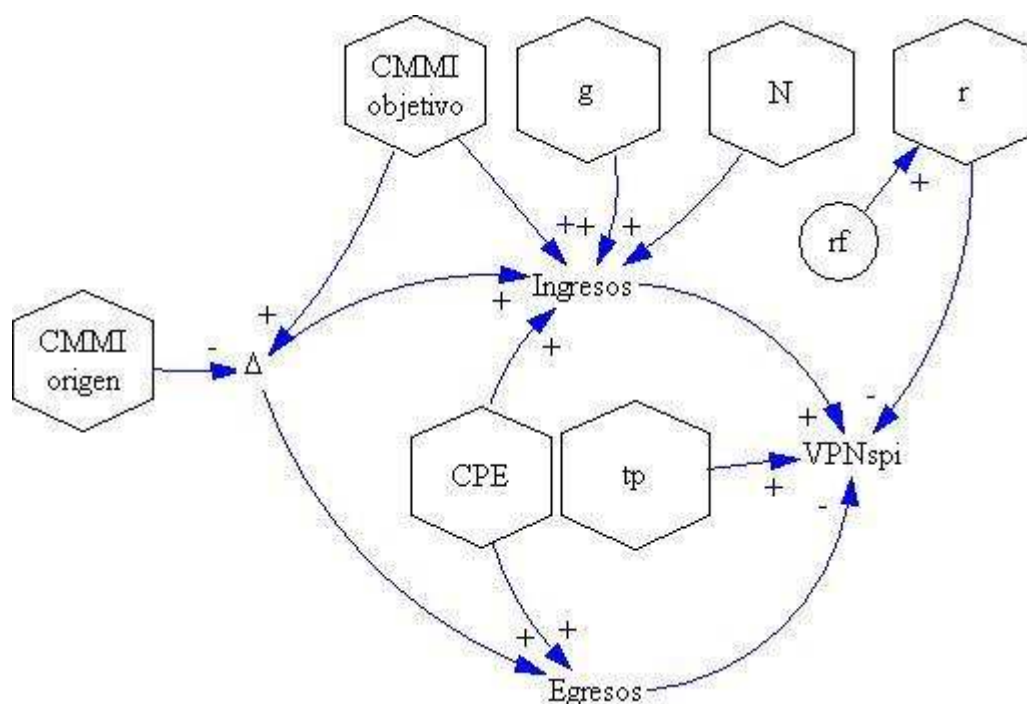


Figura 7-1 Diagrama causal preliminar [usando VenSim v5.8d PLE]

Para construir el diagrama, se representan las principales variables independientes y relaciones utilizadas para construir el valor presente neto de la inversión en SPI (VPN_{spi}), identificadas en el modelo conceptual desarrollado en el Capítulo 4. Para ello, se representan en alto nivel la mayoría de los flujos de ingresos y egresos. No es necesaria una implementación estricta en este paso, sino que bastará capturar las relaciones principales del modelo.

Las variables independientes más importantes son identificadas con contenedores hexagonales para mayor claridad. Éstas son los niveles de madurez SEI-CMMI™ de origen y objetivo, el horizonte de inversión t_p , el costo por ingeniero CPE, el tamaño de la organización N, el crecimiento que se prevé luego de la inversión SPI g y el costo de oportunidad r. Como parámetro, representado en forma distintiva por un contenedor circular, se incluye la tasa libre de riesgo r_f .

En el diagrama, las flechas indican la relación causal entre variables y el sentido en que

ocurre la influencia. El signo indica el tipo de correlación que hay entre las variables relacionadas. Cuando el signo es positivo (+), significa que los cambios en la variable controlante provocarán cambios en la misma dirección en la variable controlada, mientras que cuando el signo es negativo las variaciones ocurrirán en el sentido opuesto.

Los niveles de madurez de origen y objetivo definen el cambio de madurez (Δ) que la organización desea realizar. Los distintos factores contribuyen a los *ingresos* y *egresos*, los que a su vez definen el valor presente neto de la inversión (VPN_{spi}).

Por simplicidad, se definen los flujos de fondos de ingresos y egresos en términos económicos. La normalización, por su parte, se define por tiempo y riesgo que se obtiene al realizar el descuento de los flujos al costo de oportunidad directamente sobre el cálculo del VPN_{spi} . También se omiten inicialmente efectos como el riesgo de evaluación, ingresos por apalancamiento financiero y otras fuentes de ingresos, que serán introducidos en las versiones más detalladas del modelo.

Al construir el diagrama causal, la herramienta permiten hacer un primer análisis dimensional, es decir, asegurar que teniendo en cuenta las unidades de medida de todas las variables, las relaciones están expresadas en forma tal que las unidades de medida del resultado sean dimensionalmente consistentes.

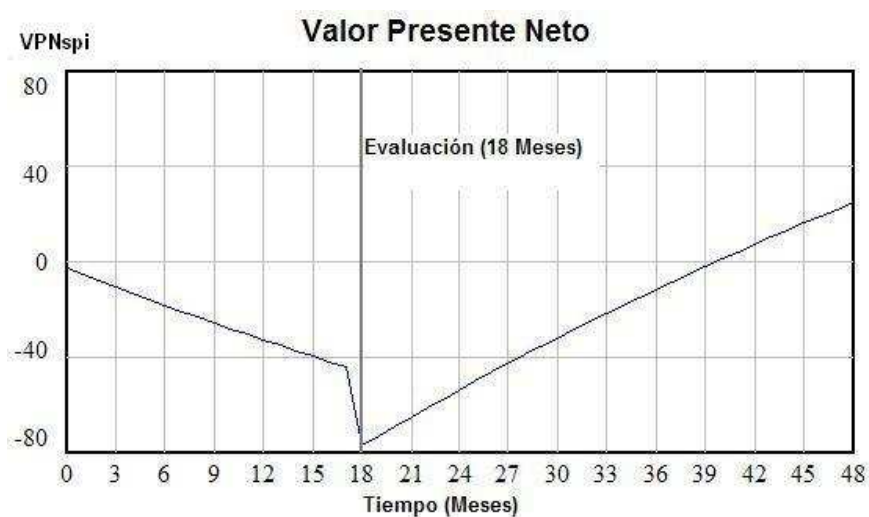


Figura 7-2 Evolución del VPN_{spi} con el tiempo durante esfuerzo SPI [ejecución VenSim]

La herramienta provee funciones para transformar el diagrama causal en un modelo ejecutable, lo que se logra haciendo explícitas las relaciones de causalidad en la forma de ecuaciones o funciones de transferencia. Al hacerlo, el diagrama causal se transforma en un modelo dinámico. Dado que en cada ejecución cada variable tendrá un solo valor, es razonable asignar valores promedio estimados para cada variable independiente y parámetro. Al hacerlo, se podrá

calcular cómo evoluciona el VPN en función del tiempo para una ejecución típica. A modo de ejemplo, se mostrará un comportamiento del VPN_{spi} como el indicado en la Figura 7-2.

En este ejemplo, desde el comienzo de la ejecución ($t=0$) hasta el momento de la evaluación ($t=t_{spi}$), la organización sólo incurre en gastos, lo que provoca que el valor presente neto se haga progresivamente más negativo. Al acercarse el momento de la evaluación, el ritmo de gastos se acelera como resultado de los costos de evaluación. Pasada la evaluación, los gastos se reducen significativamente y la organización comienza a recibir flujos de ingresos. Esto produce que el valor presente neto comience a hacerse menos negativo. Eventualmente, si se reúnen ingresos durante un tiempo suficiente, el valor presente neto se hará positivo. Para que esto ocurra se deberán obtener suficientes retornos en un horizonte de tiempo suficientemente amplio.

En ese ejemplo, y con el escenario de ejecución utilizado, la inversión será viable puesto que su VPN_{spi} resulta positivo a partir del mes n° 39, el cual es anterior a la finalización del horizonte de inversión t_p de 48 meses que se ha utilizado para el ejercicio.

Al ser ejecutado bajo estas condiciones, el modelo tendrá un comportamiento determinístico, por lo que un conjunto de valores definidos en sus entradas y parámetros producirá un resultado repetible. Si bien el comportamiento en alto nivel parece corresponder con el de una inversión en SPI, el modelo tendrá una utilidad limitada si es implementado de esta forma. En esencia, los distintos factores intervinientes no asumen valores concretos en los sistemas reales, sino rangos de valores dados por distribuciones de probabilidad. Para incorporar este comportamiento se deberá implementar un modelo dinámico estocástico.

7.3. Modelo estocástico

Sabemos que el sistema real que se intenta representar, la inversión en SPI, dista de ser determinístico. La bibliografía y el trabajo de campo reportan rangos de valores esperables para los diferentes parámetros y, en ocasiones, permiten inferir posibles distribuciones de los mismos. Será necesario recurrir a técnicas de modelado estocástico para incorporar a la evaluación el rango de valores que son esperables para los factores.

Por otra parte, en un modelo estocástico ya no será útil obtener el VPN resultante como un valor específico. Siendo un promedio podría implicar una incertidumbre demasiado grande para organizaciones aversas al riesgo. Para expresar mejor el riesgo en los resultados se utilizará, en cambio, la probabilidad que el proyecto de inversión en SPI sea viable. El perfil de riesgo de cada organización determinará cuáles son las probabilidades que consideran aceptables para llevar adelante la inversión.

La condición de viabilidad de la iniciativa estará dada entonces por:

$$P(VPN_{spi} \geq 0) \geq \nu \quad \text{Ec 75}$$

Donde el *margen de aceptación* ν será la probabilidad o expectativa que la organización define como probabilidad mínima aceptable, basada en su perfil de aversión al riesgo.

La herramienta VenSim utilizada es extremadamente versátil para esbozar y ajustar diagramas causales, así como estudiar la consistencia e integridad dimensional del modelo formulado. Sin embargo, no permite implementar variables cuyos valores respondan a distribuciones de probabilidad de forma de generar un modelo estocástico. Es por ello que se debe continuar el trabajo con otra herramienta que lo permita.

7.4. Ejecución del modelo

Para implementar el modelo ejecutable aplicando valores generados estocásticamente, se utiliza en primer lugar el programa MicroSoft Excel 2003 v11.8307.8221 SP3 (licencia corporativa), con agregados que permiten extender la metáfora de la hoja de cálculo a modelos dinámicos. Esto se logra mediante librerías externas (*add-in*) con funciones agregadas para definir distribuciones de entradas, parámetros de simulación, salidas y facilidades para evaluar los resultados. Luego de revisar las alternativas disponibles, se adopta la librería de simulación MonteCarlo *SimulAr* v2.5, la cual provee la funcionalidad necesaria para implementar el modelo conceptual.

Mediante su utilización, se realizaron implementaciones ejecutables preliminares que permitieron pulir el modelo conceptual en sucesivas iteraciones, comenzando desde sus formulaciones iniciales hasta su versión final expuesta en el Capítulo 4. Los pasos intermedios dieron lugar a material oportunamente publicado [Colla2006, Colla-Montagna2006, Colla-Montagna2008a, Colla-Montagna2008b, Colla-Montagna2008c], por lo que fue posible recolectar opiniones y sugerencias durante las revisiones y presentación del material.

Desafortunadamente, la implementación mediante una hoja de cálculo tiene algunas desventajas que eventualmente agotan la utilidad del enfoque. Éstas son básicamente tres:

- No se dispone de herramientas de construcción que permitan ver rápida y efectivamente la relación entre factores. Éstos están hundidos en las fórmulas de las respectivas celdas y, por lo tanto, es muy difícil evaluar el impacto durante la ejecución y en especial cuando se realizan cambios.
- Se carece de herramientas para validar la consistencia dimensional de las relaciones, por lo que se pueden introducir errores inadvertidamente, que son de muy difícil depuración.
- No es sencillo gestionar la complejidad del modelo recurriendo a implementaciones de orden superior (es decir, en más de un nivel).

Para evitar algunos de estos inconvenientes, se implementa la versión definitiva del modelo en la herramienta GoldSim v9.60 SP2 (licencia académica). Esta herramienta no es particularmente apta para construir diagramas causales, pero tiene todas las facilidades necesarias para implementar el modelo estocástico detallado que se requiere desarrollar.

Debido a la complejidad del modelo implementado, es conveniente dividirlo en dos componentes. El primero será un modelo de alto nivel o nivel superior, donde se dispondrán las variables independientes y parámetros definidos, y se obtendrá el resultado de la simulación. El segundo componente será un subsistema denominado SPI, que contendrá un modelo de nivel inferior donde se implementará el comportamiento de la inversión SPI a partir de las relaciones entre las variables con sus respectivas distribuciones y definiciones. Al estar implementado mediante dos niveles, el modelo se denomina de segundo orden.

La herramienta GoldSim provee una interfaz flexible para que ambos niveles se comuniquen. A tal efecto, todas las variables del modelo de nivel superior se hacen disponibles al modelo de nivel inferior. Para reducir la complejidad, se implementa un acoplamiento débil entre el subsistema y el modelo de nivel superior, para ello sólo el resultado de la simulación, la distribución de resultados del valor presente neto, se encuentra disponible en el modelo de nivel superior.

Para implementar las diferentes variables y relaciones, se utilizan componentes estándares, provistos por la herramienta GoldSim. El resumen de los componentes utilizados y su propósito puede verse en el Apéndice D. La implementación de los dos niveles que componen el modelo de inversión en SPI se describe en detalle en las secciones siguientes.

7.4.1. Modelo ejecutable (nivel superior)

La implementación de nivel superior define las variables independientes y parámetros organizacionales, los cuales se modelarán como valores determinísticos. La Figura 7-3 muestra el esquema general de los componentes y relaciones definidos.

Este modelo tendrá cinco componentes principales:

- Las variables independientes.
- Los parámetros externos.
- Los factores utilizados para control de la ejecución.
- El subsistema SPI que actúa como contenedor del subsistema de nivel inferior.
- El resultado de la ejecución.

Las variables independientes y los parámetros externos servirán de entrada al subsistema de cálculo de la inversión SPI. El subsistema SPI encapsulará un modelo de segundo nivel que contenga el cálculo detallado de la inversión en SPI y el resultado de la ejecución, será la salida del

subsistema de cálculo de la inversión SPI.

Se agrega un grupo de componentes para el control de la ejecución, cuya función es de tipo programático y corresponden a variables dependientes calculadas en el subsistema SPI. Su propósito será, en algunas ejecuciones relacionadas con el análisis de sensibilidad, permitir asignarles valores específicos a esos controles de ejecución y que el subsistema use esos valores para forzar que determinadas variables internas adopten valores conocidos.

El subsistema de evaluación de la iniciativa SPI es implementado mediante un elemento “Subsistema” (GoldSim Subsystem Module GSM). Como entrada al mismo, se definen todas las variables independientes, los parámetros externos y los factores de control de ejecución que se detallan mas adelante.

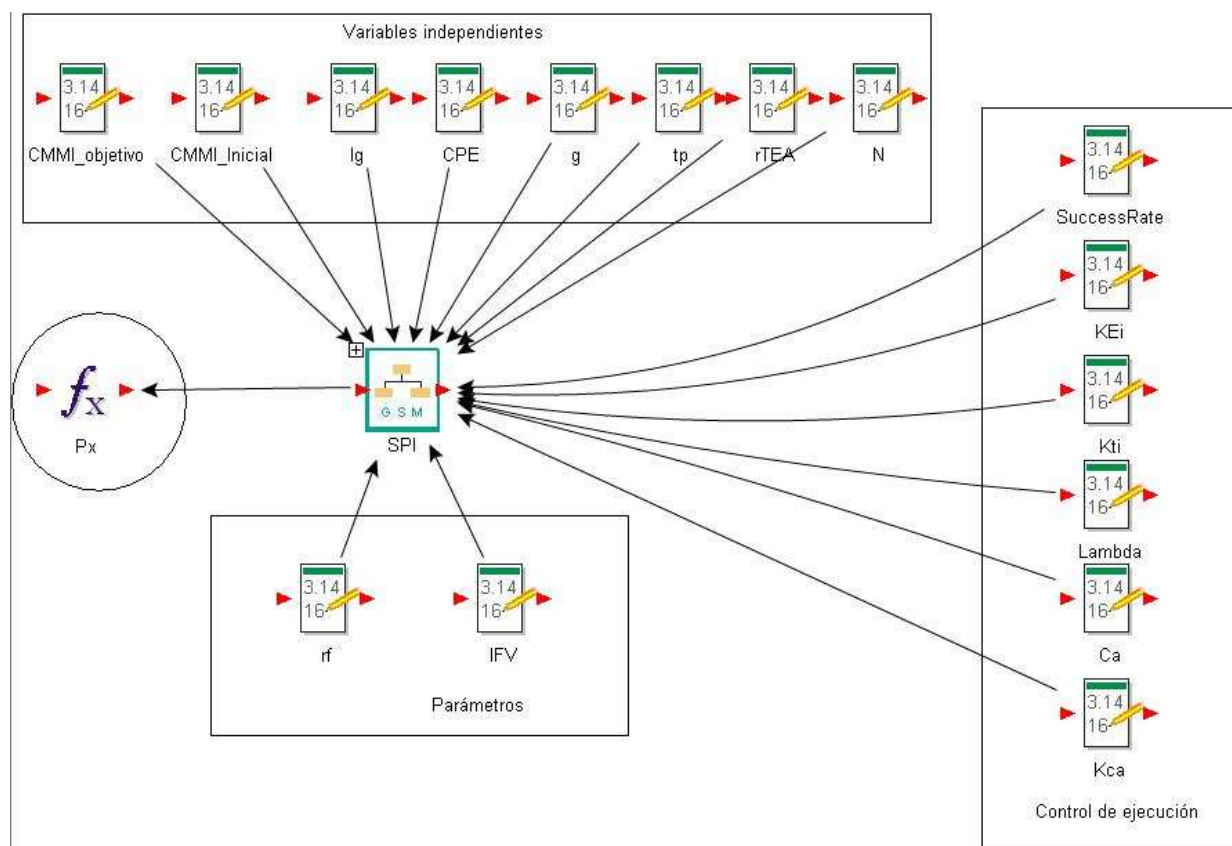


Figura 7-3 Modelo de nivel superior [Goldsim 9.6]

A diferencia del diagrama causal, donde fueron representadas sólo las variables y parámetros más importantes, en este diagrama son incluidas la totalidad de las variables y parámetros involucrados en la versión definitiva del modelo.

Los controles de ejecución, denominados K_{ti} , K_{Ei} y K_{ca} , no fueron identificados en el modelo conceptual y su propósito es de índole operativa. Mediante los mismos, es posible variar arbitrariamente dentro del subsistema SPI el tiempo de implementación, el esfuerzo de

implementación y el número de evaluaciones futuras que se incluirán en la evaluación de la inversión en lugar de permitir que estos factores adopten valores como resultado de un proceso estocástico. La asignación tendrá por propósito permitir la realización de pruebas unitarias de verificación y análisis de sensibilidad en ejecuciones de validación y escenarios. Al mismo tiempo, los factores que definen la probabilidad de evaluación exitosa (ξ en el modelo conceptual y el factor *SuccessRate* en la implementación), el factor de reducción de riesgo (λ en el modelo conceptual y el factor *Lambda* en la implementación) y el costo de evaluación C_a serán definidos como controles de ejecución para establecer, en escenarios específicos, los valores respectivos del subsistema SPI. La salida del subsistema es la probabilidad que el VPN de la inversión SPI sea menor o igual que cero

Variable	Significado	Tipo	Componente	Rangos
<i>CMMI_Objetivo</i>	Nivel SEI-CMMI™ objetivo	Variable	Input.Data	2 a 5
<i>CMMI_origen</i>	Nivel SEI-CMMI™ inicial	Variable	Input.Data	1 a 4
<i>CPE</i>	Costo por ingeniero	Variable	Input.Data	USD 28,8K $<x \leq 44,16K$
<i>g</i>	Crecimiento	Variable	Input.Data	$1 < x \leq 10\%$ mensual
t_p	Horizonte de inversión	Variable	Input.Data	$24 < x \leq 56$
<i>N</i>	Tamaño de la organización	Variable	Input.Data	$5 < x \leq 150$
r_{TEA}	Costo de oportunidad	Variable	Input.Data	$10\% < x \leq 20\%$ TEA
r_f	Tasa libre de riesgo	Parámetro	Input.Data	$0\% < x \leq 3\%$ TEA
I_{FV}	Activo subyacente	Parámetro	Input.Data	≥ 0
<i>Lambda</i>	Factor de reducción de riesgo λ	Control	Input.Data	$0 < x \leq 1$
<i>SuccessRate</i>	Prob de éxito en evaluación ξ	Control	Input.Data	$0 < x \leq 1$
<i>Ca</i>	Costo de evaluación	Control	Input.Data	USD 15K $< x \leq 40K$
K_{ti}	Variación t_{spi}	Control	Input.Data	$0 < x \leq 1$
K_{Ei}	Variación esfuerzo de despliegue	Control	Input.Data	$0 < x \leq 1$
K_{ca}	Variación costo de evaluación	Control	Input.Data	$0 < x \leq 1$

Tabla 7-1 Variables independientes implementadas en modelo de nivel superior

Para obtener la probabilidad de valor presente neto mayor a cero, P_x se la calcula mediante un elemento función (GoldSim function). Este cálculo debe realizarse por razones de implementación, puesto que la herramienta provee la probabilidad que el VPN sea menor a cero.

Las distintas variables independientes, parámetros y controles de ejecución definidos en el

modelo de nivel superior se exponen en la Tabla 7-1. Para cada variable se indica el nombre, su significado en el modelo conceptual, su tipo, el componente GoldSim utilizado para implementarla y el rango de posibles valores durante la ejecución del modelo.

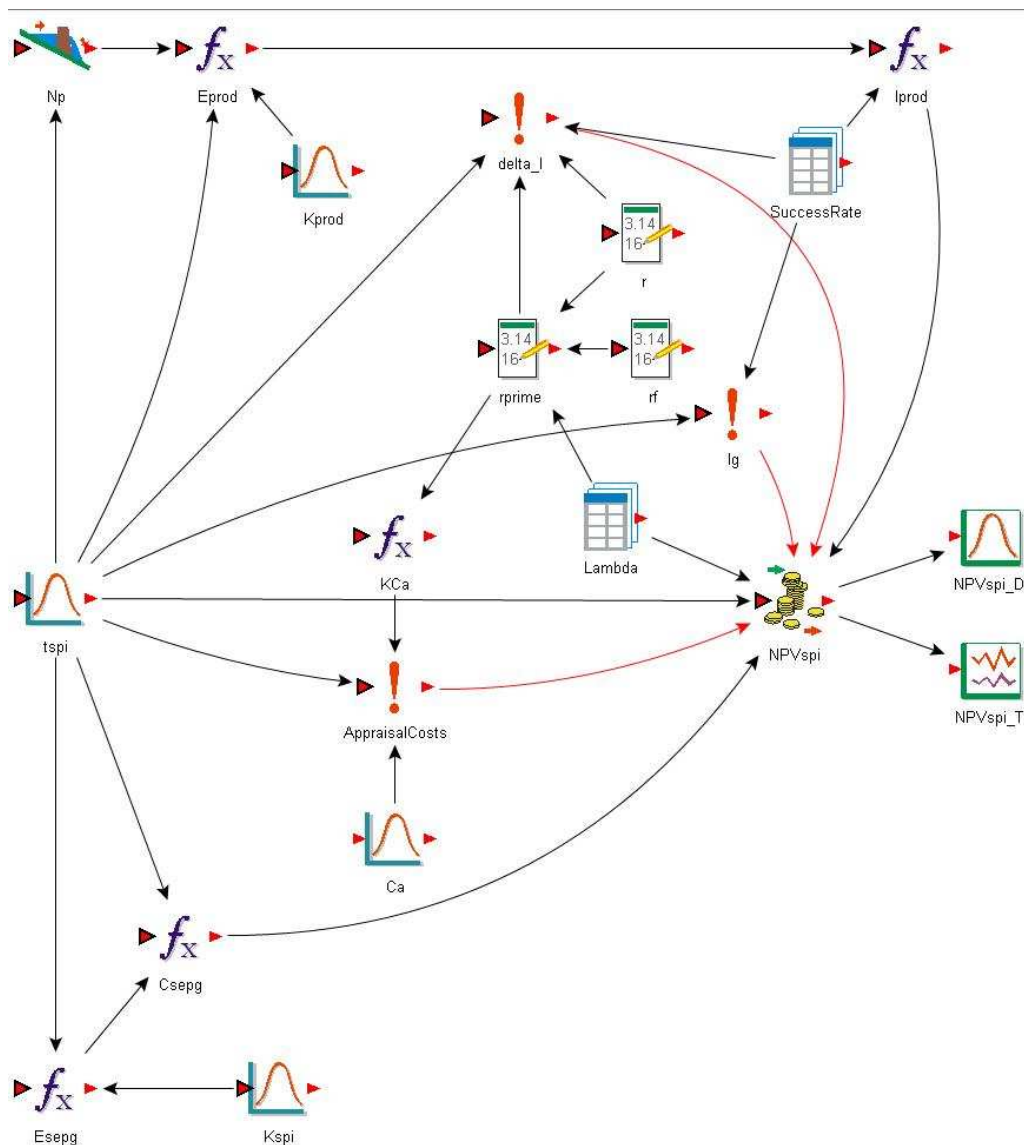


Figura 7-4 Modelo integrado de inversión SPI

7.4.2. Subsistema SPI (nivel inferior)

Las relaciones detalladas del modelo conceptual se integran en un modelo ejecutable contenido en el subsistema denominado SPI, cuya representación gráfica puede verse en la Figura 7-4. A este modelo se importan las variables definidas en el modelo de orden superior. También, se exporta al mismo el resultado de la simulación, o sea la distribución de los valores encontrados para el VPN durante la simulación y su valor medio. Este nivel implementa los distintos factores representativos de flujos de ingresos y egresos durante la inversión en SPI. Los distintos componentes de este nivel serán descriptos en las secciones siguientes.

7.4.2.1 Modelado del costo de implementación (C_{sepg})

El costo del despliegue se incluye como parte del subsistema a partir del esfuerzo de implementación E_{sepg} . Este factor está definido por la Ec 22 (se repite para mayor claridad) y se utiliza un elemento función para describirlo (GoldSim function).

$$E_{sepg} = E_d + E_t = N \times (\alpha_d + \alpha_{ta} \times N_{PA}) + \alpha_{tp} \times N_{PA} + \beta_{sepg}$$

Antes de codificar la ecuación se adaptarán sus coeficientes para reflejar la evidencia empírica obtenida en los capítulos anteriores. Dado que el esfuerzo de implementación se puede considerar independiente del nivel SEI-CMMI™ objetivo y del tamaño organizacional (Sección 6.6.1) se puede considerar que:

$$\alpha_d = \alpha_{ta} = \alpha_{tp} = 0$$

Si además el esfuerzo de implementación se considera como igualmente distribuido en cada período mensual durante el despliegue del proceso, podremos expresar:

$$\beta_{sepg} = \frac{K_{spi}}{t_{spi}}$$

El *esfuerzo de implementación total* K_{spi} se programa como una variable estocástica siguiendo una distribución normal, como la mostrada en la Figura 7-5. Posteriormente, en la Sección 7.5, se describe con mayor detalle el funcionamiento de un ciclo de simulación. Se utilizarán los siguientes valores característicos identificados en el capítulo anterior (Sección 6.5).

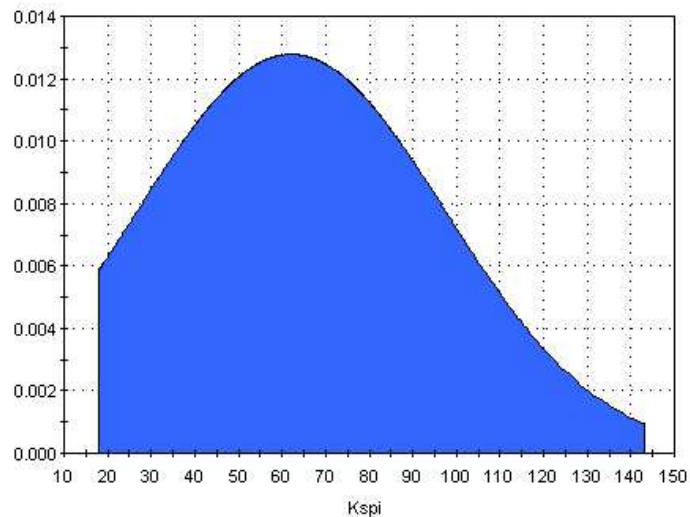


Figura 7-5 Esfuerzo de implementación SPI

Mínimo: 18 Personas-Mes por nivel SEI-CMMI™.

Promedio: 62,11 Personas-Mes por nivel SEI-CMMI™

Desvío estándar: 35,37 Personas-Mes por SEI-CMMI™.

Máximo: 143 Personas-Mes por nivel SEI-CMMI™.

La generación se hace sin disparadores para regeneración de la muestra (*resample*). Esto significa que el valor elegido para esta variable se mantiene constante en todos los períodos de tiempo considerados en un intento.

El *tiempo de implementación* t_{spi} se programa como una variable estocástica, cuyos valores son generados siguiendo una distribución normal como la mostrada en la Figura 7-6 y cuyas características, que se muestran a continuación, fueron obtenidas empíricamente en la Sección 6.5

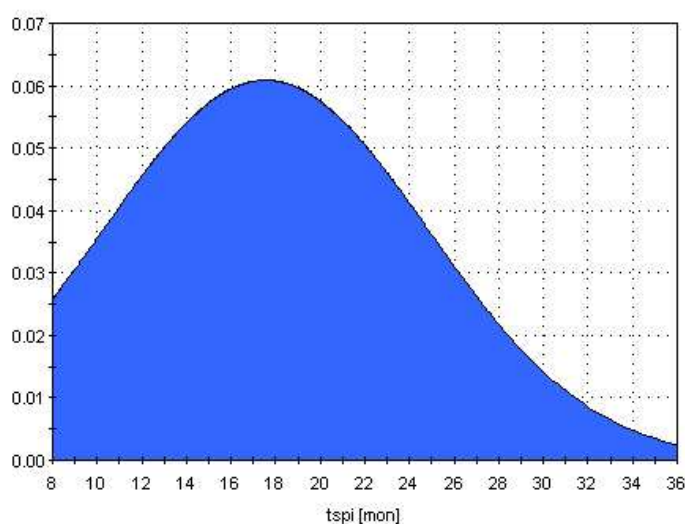


Figura 7-6 Tiempo de implementación de iniciativa SPI

Mínimo: 8 meses por nivel SEI-CMMI™.

Promedio: 17,55 Meses por nivel SEI-CMMI™.

Desvío estándar: 7,29 Meses por SEI-CMMI™.

Máximo: 36 meses por nivel SEI-CMMI™.

Como en casos anteriores, la generación se hace sin disparadores para regeneración de la muestra (*resample*). Al especificar las distribuciones se aplicó el criterio discutido en la Sección 3.4.1, mediante el cual se eliminan los valores de la distribución no encontrados en la evidencia empírica y que la experiencia demuestra que son improbables. Al hacer el recorte, se realizan los ajustes para que la totalidad del área bajo la curva represente una probabilidad del 100% de ocurrencia de los eventos.

El *costo de implementación* C_{sepg} se obtiene, finalmente, multiplicando el esfuerzo de implementación mensual E_{sepg} por el CPE. Como una medida de integridad se impone una restricción, para que durante la simulación el C_{sepg} sea cero para cada periodo superior al tiempo de implementación.

La herramienta asegura que todos los factores definidos como relacionados sean efectivamente utilizados en las ecuaciones de transferencia y que, al hacerlo, las dimensiones sean consistentes con la del resultado. De esta manera, se realizan automáticamente verificaciones importantes para la integridad del modelo.

7.4.2.2 Modelado del ingreso por performance (I_{prod})

Los ingresos por performance I_{prod} se implementan como parte del subsistema SPI a partir de programar la Ec 44, reproducida a continuación para mejor referencia, en la forma que puede verse en la Figura 7-4.

$$I_{\text{prod}} = \xi[CMMI_{\text{objetivo}}] \times K_{\text{prod}} \times N \times \Delta \times CPE$$

Para implementar el *tamaño de la organización en cada período* (N_p), se recurre a un elemento de tipo *reservorio* (*GoldSim reservoir*), cuyo valor inicial está dado por el tamaño de la organización N , y crece a partir del momento de implementación t_{spi} a una tasa mensual g . Para ello, se utilizan los siguientes parámetros:

Valor Inicial: Tamaño de la Organización (N).

Ritmo de Agregado: Para todo tiempo de simulación superior al tiempo de implementación (t_{spi}) se agrega una proporción (g) a la dimensión de la organización (N).

Si el tiempo de simulación es superior a t_{spi} utiliza $N \cdot g$, caso contrario 0.

Ritmo de Reducción: 0, pues se asume que la organización no disminuye.

La mejora de productividad producirá una reducción de esfuerzo total de magnitud E_{prod} , el cual dependerá del tamaño de la organización N_p en el período que se considere. Esta reducción aparecerá como un esfuerzo ganado, en la práctica equivalente a un ingreso.

La mejora de productividad por nivel SEI-CMMI™, K_{prod} , se programa según lo discutido en la Sección 4.5.1 por medio de una variable estocástica. Dado que se dispone de valores extremos y un valor medio, se usa una distribución triangular, según lo discutido en la sección 3.4.1. Esta variable no se calibra desde información empírica obtenida en el mercado argentino sino que se asume la validez de los hallazgos de Clark, oportunamente discutidos [Clark2000]. Los valores posibles están reflejados en la Figura 2-12 donde se muestra los valores medios así como los límites superior e inferior para una confianza del 95%; en el modelo se utilizarán los valores medios.

Esta distribución será como la mostrada en la Figura 7-7, cuyas características serán:

Mínimo: 0,04 por nivel SEI-CMMI™.

Más Probable: 0,08 por nivel SEI-CMMI™.

Máximo: 0,12 por nivel SEI-CMMI™.

Como en casos anteriores, la generación se hace sin disparadores para regeneración de la muestra (resample). Para obtener los ingresos por productividad I_{prod} es necesario realizar el cálculo mediante un elemento función (GoldSim Function) donde se multiplica el esfuerzo ganado debido a la mejor productividad E_{prod} por el costo por ingeniero CPE. Para obtener la esperanza de este flujo de fondos se debe afectar el resultado por la probabilidad de éxito en la evaluación (SucessRate).

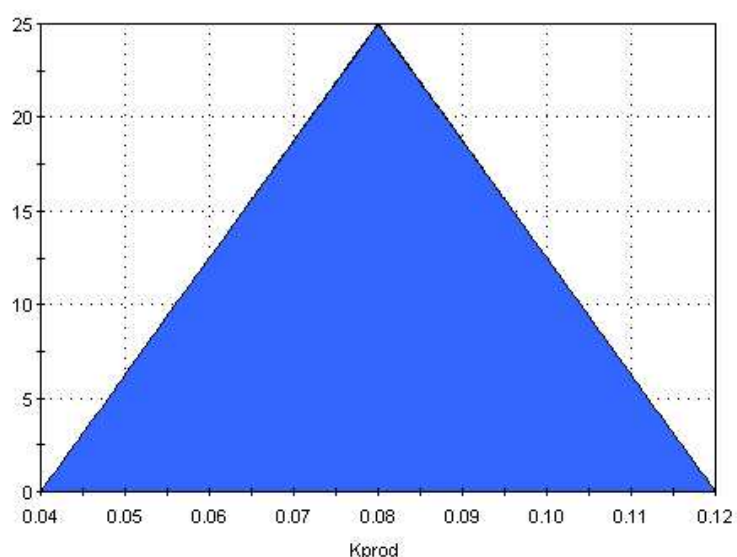


Figura 7-7 Distribución de mejoras de productividad por nivel SEI SW-CMM [Clark2000]

El estudio tomado como base establece las mejoras de esfuerzo que se debe esperar encontrar con la adopción del modelo SEI SW-CMM. Por lo tanto, al ser usadas con el modelo SEI-CMMI™ deberá considerarse como una postura cautelosa debido a que es razonable esperar que las ganancias obtenibles hayan mejorado con el modelo más evolucionado. La experiencia indica que las mejoras de performance en la organización son al menos iguales entre ambos modelos.

La tabla *SuccessRate* está programada como una función tabla de búsqueda (GoldSim Functions.Lookup_Table), con cuatro entradas correspondientes a los cuatro niveles posibles del modelo SEI-CMMI™ y los respectivos valores para el riesgo de evaluación (ξ). La tabla se crea con una dimensión e interpolación lineal de resultados. El contenido de la misma se muestra en la Tabla

7-2. En el Apéndice B se discute el criterio utilizado para asignar valores a este factor.

Nivel SEI-CMMI™	ξ	λ
2	0,67	0,73
3	0,92	0,73
4	1,00	0,52
5	1,00	0,52

Tabla 7-2 Riesgo de evaluación (ξ) y factor de reducción de riesgo (λ) para distintos niveles SEI-CMMI™

Durante la ejecución se generará un error fatal con cualquier búsqueda fuera de los límites de la tabla. La búsqueda se hace entrando con el valor expresado en CMMI_objetivo proveniente del modelo de orden superior como índice para la búsqueda en la tabla.

Por razones de integridad de cálculo el ingreso por performance se restringe, de forma que el resultado sea cero fuera del intervalo entre el tiempo de implementación t_{spi} y el horizonte de inversión t_p .

7.4.2.3 Modelado del costo de evaluación (C_a)

El costo de evaluación C_a se programará como parte del subsistema como un monto fijo para cada ejecución, que será definido estocásticamente. Este generará un flujo de fondos coincidente con el fin de la implementación SPI, es decir en el período t_{spi} .

Distintas fuentes bibliográficas refieren rangos de posibles valores. Puede existir incluso alguna dependencia geográfica cuando parte de los costos consisten en viajes y expensas de alojamiento. En la discusión llevada a cabo en la sección 3.4.1, se sugiere implementar una variable de la que se conocen mínimos y máximos mediante una distribución uniforme.

Sin embargo, la experiencia dicta que los valores en el caso de Argentina tienden a estar sesgados hacia el mínimo del rango, por eso se utiliza una distribución triangular con una media aproximada que capture este efecto, tal como se muestra en la Figura 7-8. Las características de la distribución serán las siguientes:

Mínimo: USD 15.000 por evento de evaluación nivel SEI-CMMI™.

Más Probable: USD 20.000 por evento de evaluación nivel SEI-CMMI™.

Máximo: USD 40.000 por evento de evaluación SEI-CMMI™.

Los valores utilizados tienen dimensión de unidad monetaria, en dólares estadounidenses. El modelo es tolerante a ser operado en valores expresados en cualquier unidad monetaria, pero la única restricción es que ésta sea consistente con la utilizada por la variable Costo por Ingeniero CPE. La generación se hace sin disparadores para regeneración de la muestra (resample).

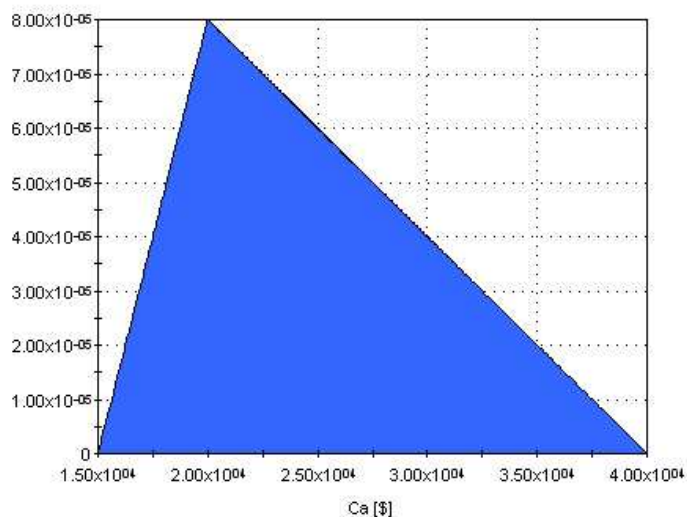


Figura 7-8 Distribución de Costos de Evaluación

Además de la variable estocástica utilizada para generar el valor del costo de evaluación propiamente dicho, se utiliza un elemento “evento” *AppraisalCosts* (GoldSim event), que asegura que ese costo es aplicado sólo en el período correspondiente al fin de la implementación t_{spi} .

Este factor puede ser alterado desde el modelo de nivel superior en dos formas. La primera es por reemplazo directo por medio del factor de control C_a en dicho nivel. La segunda forma consiste en indicar con el factor de control K_{ca} si al valor estocástico de la variable se desean agregar uno o más eventos de evaluación futuros de igual magnitud y, con el descuento financiero apropiado. Esta facilidad será utilizada en escenarios estudiados en el Capítulo 8.

7.4.2.4 Modelado del ingreso por menor incertidumbre en los resultados (ΔI)

El ingreso por menor incertidumbre ΔI , se implementa como parte del subsistema a partir de programar las ecuaciones Ec 61 a Ec 65 en la forma que se presenta en la Figura 7-4, donde es referido mediante un evento denominado *delta_I* (GoldSim event). Este es programado para ocurrir en el período correspondiente al tiempo de implementación t_{spi} . El resultado se afecta por la probabilidad de éxito en la evaluación extraída de la tabla *SuccessRate*, previamente mencionada.

El costo de oportunidad r se calcula a partir de la tasa efectiva anual r_{TEA} de corte para inversiones que la organización elija, este valor al momento de la ejecución es definido por el modelo de nivel superior. Para ello, se emplea la Ec 32. Una vez calculado, se deriva la tasa efectiva

mensual modificada r' , que se denomina r_{prime} , por medio de la Ec 50. En este último cálculo se incorpora la consideración del factor de variación de riesgo λ , que a su vez se implementa mediante una tabla denominada Lambda. Esta tabla es programada como una función tabla de búsqueda (GoldSim Functions.Lookup_Table). Para cada entrada correspondiente a los cuatro niveles posibles del modelo SEI-CMMITM se asigna el valor del factor de reducción de riesgo utilizado. La tabla se crea con una dimensión e interpolación lineal de resultados. En la Tabla 7-2 se muestran los valores utilizados. En el Apéndice A se discutirá la metodología propuesta para estimar estos valores.

Se genera un error fatal de ejecución con cualquier acceso fuera de los límites de la tabla. La búsqueda se hace entrando con el valor expresado en CMMI_objetivo proveniente del modelo de orden superior. Los valores que se asignarán a este factor serán discutidos con mayor detalle en secciones siguientes. El resto de los factores necesarios para completar el cálculo son provistos por el modelo de nivel superior.

7.4.2.5 Modelado de mayores ingresos (I_g)

Este factor permite introducir mayores ingresos definidos en forma externa al modelo tal cual lo discutido en las Ec 47 y Ec 48. Su valor se incorpora directamente como variable independiente del modelo de orden superior. El valor a definir para cada ejecución se supone ya descontado como un valor futuro al momento del tiempo de implementación t_{sbi} . Tal lo discutido en la Sección 4.5.2, esta magnitud define en el modelo el VP de flujos de fondos arbitrarios por ingresos adicionales derivados del crecimiento de la organización, expresado al momento de la implementación t_{sbi} . Se completa la programación con la estructura mostrada en la Figura 7-4, donde se genera un evento I_g (GoldSim event) al momento de la implementación t_{sbi} y se afecta el resultado por la probabilidad de éxito, tal como se obtiene con el uso del elemento SuccessRate previamente definido.

El factor I_g es incorporado en la implementación como una forma de introducir resultados o ingresos asistémicos en forma externa al modelo.

7.4.2.6 Valor presente de la inversión en SPI (VPN_{sbi})

Para calcular, finalmente, el valor presente de la inversión SPI, se utiliza un elemento “descuento de flujos” (GoldSim cashflow) alimentado por los montos calculados en las implementaciones recién descritas, tal como muestra la Figura 7-4.

Entre el comienzo de la simulación y el tiempo de implementación t_{sbi} se descuentan los flujos al costo de oportunidad r_{TEA} . A partir de ese momento y hasta el horizonte de planeamiento t_p , se utiliza el costo de oportunidad r_{prime} ajustado por el coeficiente de corrección por reducción de riesgo. La distribución de resultados de este componente y el valor medio del mismo son exportados

al modelo de nivel superior como resultados de la evaluación de la iniciativa de mejora de procesos.

7.5. Ejecución del modelo

La ejecución del modelo es realizada por la herramienta GoldSim en ciclos. Cada ciclo de simulación o *realización* comienza por asignarle valores a las variables independientes del modelo de nivel superior. Estos son valores fijos establecidos manualmente, dependiendo de las características de la ejecución a realizar.

Estos valores son pasados en cada realización al sub-sistema SPI por medio de la interfaz definida, donde a continuación se establecen valores para las variables estocásticas, se evalúan las funciones correspondientes y se ejecutan tantas iteraciones como períodos tenga definido el horizonte de inversión del modelo.

En cada período se calculan los valores de flujos de egresos e ingresos correspondientes al mismo y se suman los resultados, con el descuento y signo correspondientes al valor presente neto. Finalizado el cálculo de todos los períodos, es posible establecer si el valor presente neto resultante da una inversión viable.

El método de *MonteCarlo* consiste en repetir el ciclo anterior un número de veces, cada una calculando un caso de inversión sobre tantos períodos como sea necesario para contener al horizonte de inversión definido para el escenario que está siendo evaluado. El número óptimo de realizaciones se obtiene por prueba y error a partir de un compromiso entre resolución del resultado y tiempo de ejecución.

En este caso, los ciclos de simulación se configuran para consistir en 1000 realizaciones, cada una compuesta de un número variable de períodos mensuales. Este número será definido en forma consistente con el horizonte de inversión que se desea imponer a la simulación.

El resultado de cada realización es almacenado por la herramienta; a medida que progresa la simulación se van calculando la frecuencia de aparición de cada resultado. En sucesivas realizaciones, a las variables definidas estocásticamente le son asignados valores consistentes con la distribución definida para ellas, lo que por su parte va definiendo los rangos posibles de resultados. Durante el transcurso de las simulaciones aparecerán algunos valores con más frecuencia que otros, por lo que la acumulación de un número importante de realizaciones usando el método de MonteCarlo termina resultando en una distribución durante el período simulado, como la que puede ser observada en la Figura 7-9.

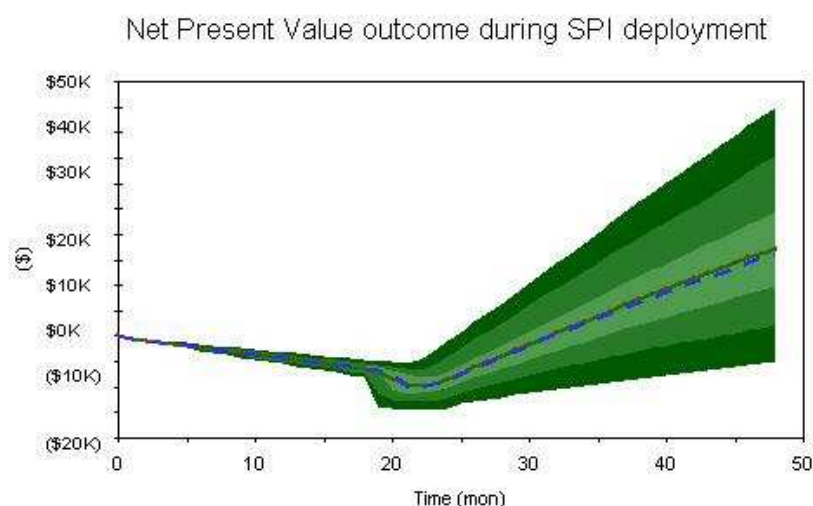


Figura 7-9 Evolución en el tiempo del VPN en una ejecución de simulación típica [Goldsim v9.6]

A medida que se van acumulando resultados posibles se puede calcular la distribución de sus frecuencias de aparición en el tiempo; comparando esta figura con la Figura 7-2 correspondiente a la ejecución de una sola realización, se puede apreciar que el patrón de evolución del VPN es similar, pero ahora se obtienen intervalos de confianza sobre sus posibles magnitudes en cualquier momento del periodo simulado. Se puede observar que la probabilidad que el VPN sea menor que cero no es nula. Cuando esto ocurra será una inversión fallida y el caso específico simulado corresponderá a una inversión SPI que no es viable.

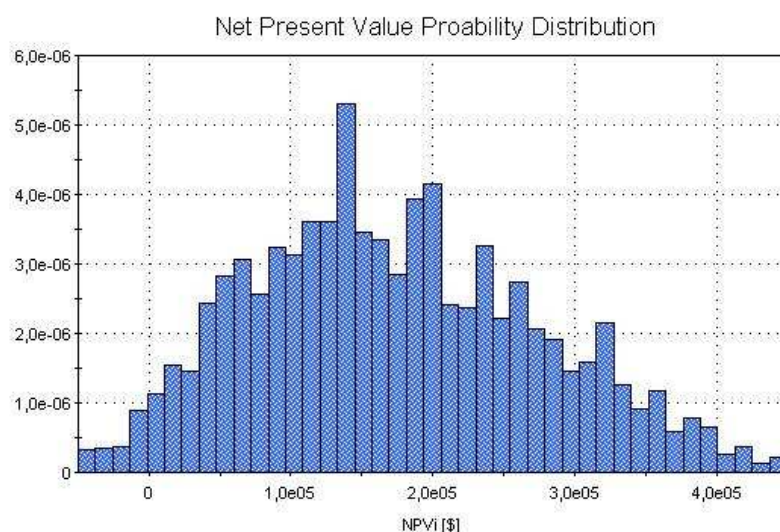


Figura 7-10 Distribución de probabilidad del VPN en una corrida de simulación típica [Goldsim v0.6]

Una secuencia de realizaciones contendrá tanto inversiones viables como otras que no lo son; la proporción entre las primeras y las segundas dependerá de la configuración del escenario y las respuestas del modelo al mismo.

A los efectos de evaluar la inversión no interesa conocer el detalle de cómo es la distribución del VPN en los periodos intermedios de la simulación. El interés se concentra en cual es la distribución de valores al final de la realización. Este valor es provisto por la herramienta, la que calcula la distribución de frecuencias de aparición de cada VPN encontrado tal como lo muestra el ejemplo correspondiente a una ejecución típica mostrado en la Figura 7-10.

Calculando el área bajo la curva de la distribución resultante entre cero y el máximo valor de VPN encontrado, puede conocerse la probabilidad que la inversión en SPI sea exitosa. Usando el mismo método, se puede calcular la probabilidad que la inversión resulte en un VPN entre dos valores arbitrarios que pueda definir la organización. Este tipo de análisis permite a los responsables de tomar la decisión equilibrar sus objetivos con su perfil de aversión al riesgo, así como comparar la inversión en SPI con inversiones alternativas.

Para evaluar escenarios es importante estudiar la dependencia o sensibilidad de los resultados de las ejecuciones a cambios en los parámetros y variables independientes. La herramienta provee facilidades para realizar este tipo de análisis. Por ejemplo, la influencia de las distintas variables durante una ejecución donde se simula una organización intentando alcanzar un nivel 3 de SEI-CMMI™ puede observarse en la Figura 7-11.

En este gráfico se muestra la relación que tiene el resultado de la simulación con cada variable que resulte de interés para el análisis de sensibilidad. La representación indica el rango de posibles valores de la variable cuya relación con el resultado se desea analizar. El valor uno (1) representa el máximo valor alcanzado por la variable dependiente (la probabilidad que el VPN sea mayor que cero en este caso) durante la simulación y cero (0) representa el valor mínimo; el resto de la escala son los valores intermedios expresados como una fracción del máximo valor encontrado.

En el gráfico el segmento denominado “High” muestra para qué rango de valores el resultado del modelo, el VPN de la inversión SPI, subió. En forma similar el segmento “Low” del gráfico indica para qué rango el resultado del modelo bajó.

Usando este ejemplo, se puede ver que el modelo pronostica que los resultados mejoran con el incremento del *tamaño organizacional* N , el *horizonte de inversión* t_p y el crecimiento planeado g en menor medida. El aumento del *costo de evaluación* C_a y del *costo de oportunidad* r_{TEA} opera en la dirección opuesta al deteriorar el VPN.

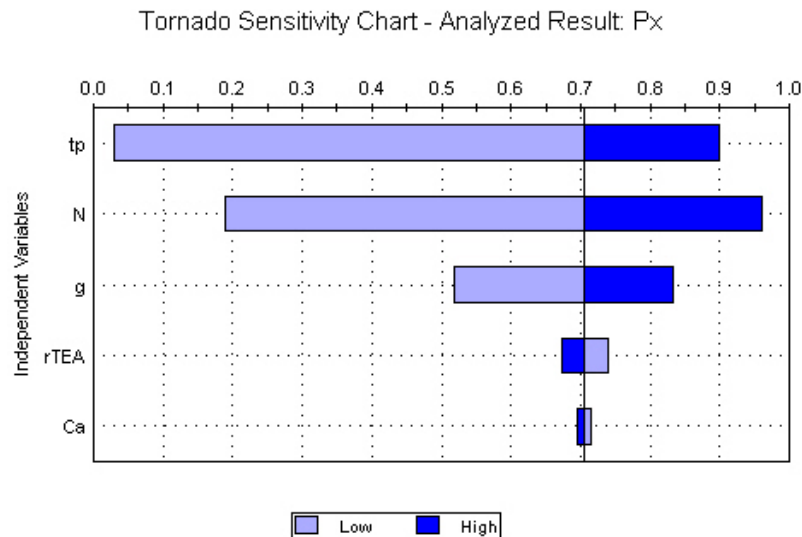


Figura 7-11 Sensibilidad del VPN a los factores organizacionales [Goldsim v9.6]

A modo de verificación de funcionamiento, es importante analizar también qué ocurre con el resultado del modelo cuando se hace adoptar a cada variable independiente su rango completo, incluyendo valores extremos.

La función *análisis de sensibilidad* (sensitivity analysis) disponible en GoldSim permite variar en forma aislada cada variable sobre un rango definido de valores, mientras deja el resto de las variables en sus valores medios. El resultado de este análisis puede observarse en la Figura 7-12.

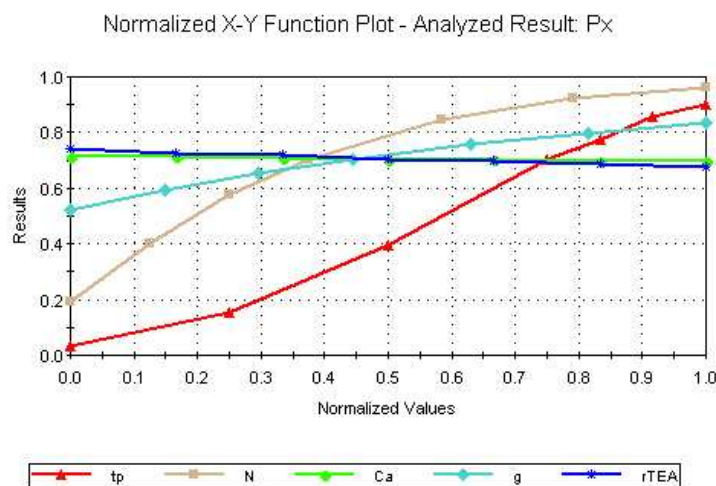


Figura 7-12 Sensibilidad el VPN a la variación de factores organizacionales [GoldSim v9.6]

En este gráfico, cada variable explorada se representa mediante valores normalizados donde 0,5 corresponde al valor medio definido, mientras que cero y uno corresponden a los valores extremos mínimo y máximos definidos para esa variable, normalizados al valor máximo. La ejecución secuencial automática para todos los factores contemplados en el análisis permite estudiar

el comportamiento del modelo. Las implicancias de la sensibilidad del resultado a cada variable de interés serán discutidas con mayor detalle en el capítulo siguiente. En esta instancia y como paso de verificación, bastará corroborar que no existan valores de las variables para los cuales el modelo tenga una sensibilidad especial, y que los resultados sean consistentes con los observados en las corridas con generación de valores en forma estocástica.

A los efectos de realizar los análisis de escenarios, se tomaron algunas premisas sobre valores para las variables independientes del modelo. Los valores a utilizar como hipótesis por omisión serán:

- Evaluación para SEI-CMMI™ Nivel 3, progresando desde Nivel 1.
- Ingresos debido a activos subyacentes nulos ($I_{FV}=0$).
- Ingresos adicionales nulos ($I_g=0$).
- Costo por ingeniero representativo de mercado argentino ($CPE=USD\ 36480 / \text{Año}$).
- Sin hipótesis de crecimiento de organización ($g=0\%$).
- Horizonte de inversión amplio ($t_p=48$ meses).
- Costo de oportunidad estimado efectivo anual de mercado tecnológico ($r_{TEA}=15\%$).
- Premio por tiempo o tasa efectiva anual libre de riesgo ($r_f=3\%$).

La influencia de estos valores será explorada en el siguiente capítulo mediante análisis estáticos de sensibilidad. Estos valores representan las condiciones más conservadoras concebibles para la ejecución del modelo y operará como línea de base del mismo.

7.6. Verificación del modelo ejecutable

La verificación del modelo consiste en las actividades que exploran el funcionamiento interno, en particular su estructura y comportamiento. De esta forma se detectan y, de ser necesario, se solucionan problemas introducidos durante la construcción. Estos pasos se realizan a modo de test del modelo implementado.

7.6.1. Verificación de la estructura interna

La verificación de la estructura del modelo consiste en asegurar la *consistencia dimensional*, el comportamiento en *valores extremos* de las relaciones y el cumplimiento de las *condiciones de borde*. El propósito de asegurar la consistencia dimensional es asegurar que las variables utilizadas en cada ecuación del modelo tienen unidades de medida ajustadas al cálculo en que intervienen para obtener las dimensiones del resultado. Cualquier inconsistencia dimensional detectada, debe ser solucionada para asegurar el correcto cómputo y escala de todos los factores. Este test fue realizado mediante la asignación de unidades de medida a todas las variables utilizadas, tales como dinero (\$),

meses, meses/hombre y otras. Efectuando esta caracterización, el software utilizado chequea automáticamente las dimensiones y no permite almacenar ecuaciones inconsistentes. GoldSim tampoco progresa con las ejecuciones cuando hay condiciones de error que pudieran haber quedado sin resolver, lo que agrega un chequeo de consistencia implícito.

El propósito del test de condiciones extremas es asegurar que las ecuaciones entregarán resultados sensatos cuando estén sometidas a valores extremos, pero posibles, de los distintos parámetros. Cada ecuación en el modelo fue revisada para detectar qué efecto podría tener en ella la aplicación de resultados extremos. El modelo es ejecutado, como fue discutido en la Sección 7.5, con facilidades de análisis de sensibilidad provistas por la herramienta de implementación, asegurando que todos los valores extremos son ejercitados. Todos los problemas detectados fueron corregidos. Adicionalmente, se exploran los límites extremos de todas las tablas definidas con el fin de verificar el correcto funcionamiento de los algoritmos, así como que se generan condiciones de excepción cuando se las intenta acceder con índices superiores a su longitud máxima.

Finalmente, el propósito de la ejecución en condiciones de borde, o ejecución con rangos máximos admitidos, es la verificación que el modelo contiene las previsiones y lazos de realimentación necesarios para resolver el problema objeto del estudio, aún bajo estas condiciones extremas. Además de revisiones generales y ejecuciones de escenarios donde los resultados son validados por cómputo, la estructura general del modelo fue publicada en distintas etapas de progreso y fueron incorporados los resultados de las revisiones realizadas.

7.6.2. Verificación de comportamiento

Verificar el comportamiento del modelo consiste en el test unitario de sus componentes. Para cada factor calculado definido en el modelo, se introducen valores para las variables y parámetros que participan en su cálculo y se revisa que el resultado coincida con el cálculo manual a modo de test unitario. Este paso luce ciertamente trivial, pero se lo referencia de modo de ser consistente con la metodología de verificación discutida en el Capítulo 3.

A continuación, se cambia cada variable independiente por separado mientras se mantiene constante todo el resto. Esto incluye los factores cuyo valor se define estocásticamente, los cuales son fijados en los valores medios de sus respectivas distribuciones. En cada ejecución se revisan dos tipos de situaciones respecto a cambios en variables independientes y parámetros:

- Cambios mayores en la respuesta con respecto a cambios menores en las entradas.
- Pequeños cambios en la respuesta resultantes de cambios importantes en las entradas.

Todos los problemas encontrados en esta verificación se solucionan antes de proceder a la validación del modelo. El tipo de comportamiento encontrado se muestra en la Figura 7-12.

7.7. Validación del modelo ejecutable

Continuando con el enfoque metodológico propuesto, resta estudiar la validez del modelo, esto es, si es adecuado para representar el sistema real objeto de estudio. Siguiendo las recomendaciones sobre mejores prácticas discutidas (ver Capítulo 3, Sección 3.7.6) se realizará la evaluación mediante dos evaluaciones experimentales. Para conseguir este objetivo, se aprovechará que los resultados del modelo son observables para realizar una validación objetiva y otra subjetiva. La primera será un test estadístico de los resultados contra un caso de estudio, mientras que la segunda consistirá en exponer el comportamiento del modelo a un grupo de expertos de la industria.

7.7.1. Validación estadística

En el Capítulo 5 se presentó y discutió el perfil de organizaciones en Argentina respecto a sus iniciativas SPI, sobre datos extraídos de la encuesta 2007 realizada por CESSI. Además de proveer información valiosa sobre el comportamiento de las organizaciones, se obtuvo una medida de la frecuencia de adopción de SEI-CMMI™ entre las firmas encuestadas. Se utilizará entonces esta información como un caso de estudio contra el cual comparar los resultados del modelo.

El resultado a validar será la probabilidad, bajo un conjunto de condiciones establecidas por los valores de las variables independientes, de que una organización tenga una inversión viable en SPI. En una población grande, y si todos los actores son racionales, esta probabilidad debería ser similar o estar relacionada con la proporción de organizaciones que han realizado o están realizando iniciativas en SPI. Dicho de otra forma, si la probabilidad de tener una inversión exitosa en SPI bajo determinadas condiciones es baja es razonable esperar que la frecuencia de aparición de organizaciones que hayan adoptado SEI-CMMI™ bajo condiciones similares debería ser baja también. Si bien las organizaciones pueden decidir alcanzar cualquiera de los cuatro niveles de madurez que prevé el modelo SEI-CMMI™, se ha visto que en la práctica la mayoría de las organizaciones decidirán abordar primero un primer nivel básico de madurez (en nivel 2 ó 3) para posteriormente progresar a un nivel de alta madurez (en nivel 4 ó 5). Por otra parte (Sección 6.4), las organizaciones que están evaluadas en alta madurez son una fracción reducida, representando algo más del 10% de quienes invierten usando el modelo SEI-CMMI™, según los registros oficiales del SEI. La validación se realizará con la hipótesis de progresar a Nivel 3 de madurez, lo que es una postura conservadora, por un lado porque los costos de Nivel 2 deberían ser menores y por lo tanto producir casos más atractivos.

Asumiremos como premisa de trabajo que las organizaciones reconocen la importancia de invertir en SPI (tema ya discutido en el Capítulo 2, Sección 2.11). Esto significa que realizarían la inversión si lo consideraran viable. Se usará durante la validación el tamaño de la firma como un

factor independiente significativo en la definición de una inversión SPI. Si bien el pronóstico de la respuesta a otros factores puede resultar de interés, esos análisis se realizarán en el Capítulo 8. El principal objetivo en esta sección será validar el modelo y, para ello, se apelará a una variable sobre la que se ha recolectado suficiente evidencia empírica, desde más de una fuente de datos independiente, como lo es la relación entre la realización de inversiones SPI y el tamaño de la organización.

Se utilizará como fuente de datos para esta validación la Encuesta CESSI 2007 discutida en el Capítulo 5. La Tabla 7-3 muestra los datos asociados al caso de estudio. El tamaño de la organización se representa separado en segmentos y la cantidad de organizaciones en cada uno se denomina *Población*. El total de organizaciones involucradas en el análisis es de 111.

Tamaño Organización				SEI-CMMI TM			P(NPV>0) con tp=48 meses		
Desde	Hasta	Población	%	CMMI	Frec	%	Min	Med	Max
1	19	58	52.3%	3	3	5.2%	0.1%	1.8%	5.3%
20	39	27	24.3%	11	8	29.6%	5.3%	16.6%	31.2%
40	79	17	15.3%	22	11	64.7%	31.2%	58.3%	76.5%
80	159	6	5.4%	27	5	83.3%	76.5%	95.4%	98.4%
160	160 y más	3	2.7%	29	2	66.7%	100.0%	100.0%	100.0%
		111							

Tabla 7-3 Frecuencia de organizaciones adoptando SEI-CMMI(TM) vs. pronóstico de modelo

Respecto a la adopción de SEI-CMMITM, se muestra la cantidad acumulada de organizaciones que han adoptado el modelo (“CMMI”), mientras que la columna de frecuencias (“Frec”) muestra el número de las organizaciones dentro de ese segmento en particular que han adoptado o planean adoptar SEI-CMMITM. Por otra parte, “%” se refiere al porcentaje de organizaciones respecto de la población total de ese segmento. Se tratará de validar el modelo a partir de la predicción de esta frecuencia de adopción.

Por su parte, se realiza una ejecución del modelo para diferentes tamaños organizacionales con los valores nominales previamente discutidos en Sección 7.5. Para la ejecución se toma un horizonte de inversión t_p de 48 meses. Este valor se adopta ya que constituye la preferencia de más del 93% de las organizaciones encuestadas (ver Sección 6.7). Los resultados se expresan como la probabilidad de tener un VPN positivo en un horizonte de 48 meses para organizaciones del tamaño mínimo, medio y máximo del rango.

Por ejemplo, en el primer segmento, compuesto por organizaciones que tienen entre 1 a 19 personas, sobre un total de 58 organizaciones sólo tres (3) han adoptado SEI-CMMITM, representando un 5,2% del total de la población. Para organizaciones de hasta 20 personas el

modelo pronostica que la probabilidad de tener una inversión exitosa en SPI será entre 0 y 5%.

La gráfica que muestra el valor del caso y lo pronosticado por el modelo para cada segmento se puede ver en la Figura 7-13.

Puede observarse una razonable correspondencia entre las frecuencias de adopción tomadas como referencia y lo que pronostica el modelo para los tamaños organizacionales comprendidos entre los límites del rango de cada segmento de población encuestado. La única excepción la constituye el segmento de organizaciones cuyo tamaño es de “160 y más” personas. En este caso, se atribuye la diferencia a la escasa cantidad de firmas en ese segmento de la población encuestada.

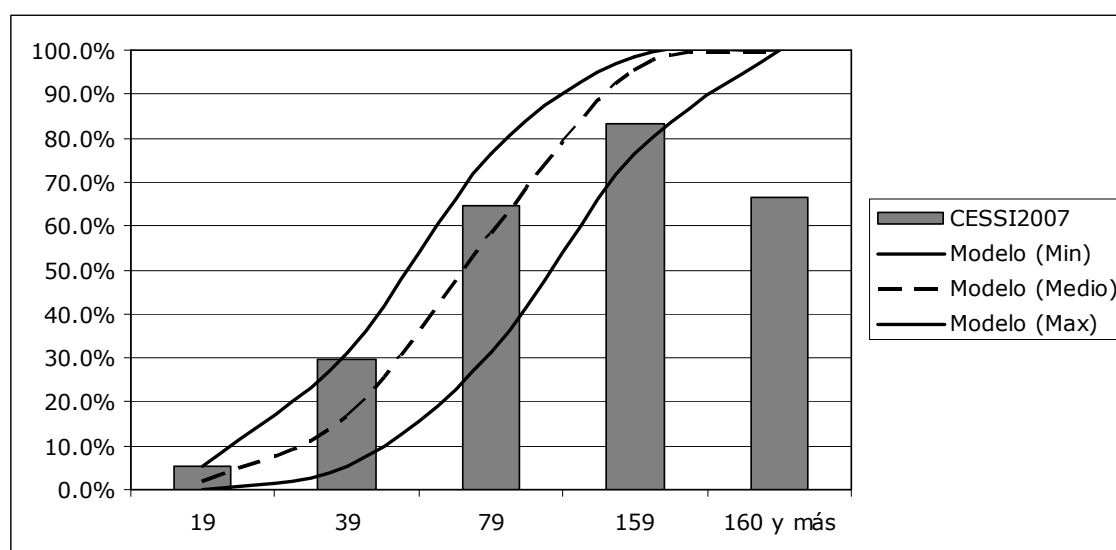


Figura 7-13 Resultados comparativos entre la Encuesta CESSI 2007 y la ejecución del modelo

Si bien la inspección visual parece confirmar que no existen diferencias significativas entre la distribución pronosticada y la real, es conveniente realizar tests estadísticos para confirmarlo.

Se realiza un *t-test* de diferencia de dos muestras. Se toma como una muestra los resultados de la ejecución del modelo para el tamaño medio de los distintos segmentos poblacionales y como otra muestra los datos del caso de estudio para el mismo segmento. La hipótesis nula es que no hay diferencia entre las medias de ambas muestras mientras que la hipótesis alternativa es que sí la hay. Se toma como nivel de confianza $\alpha=0,05$.

El resultado es, utilizando MiniTab v 14.2 para el análisis, que el p-value es de 0,92, con lo que no se puede rechazar la hipótesis nula y se puede concluir que ambas muestras son iguales.

Para hacer el test anterior se ha supuesto que las muestras tienen una distribución normal, lo que sólo puede tomarse como aproximación. Debido a ello se hace como segundo test una comparación de medianas por el método de *Mann-Whitney*; éste test no establece ninguna hipótesis sobre la distribución de las muestras. En este caso, la hipótesis nula es que las medianas de ambas muestras, tal como fueron definidas para el caso anterior, serán iguales. La hipótesis alternativa es

que no lo son. Al ejecutarlo, el resultado muestra un $p\text{-value}=0.88$, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula dentro del margen de confianza de 0,05. Como resultado se concluye que ambas distribuciones, la empíricamente relevada en el mercado argentino y la pronosticada por el modelo, no tienen diferencias estadísticamente significativas.

El modelo ha sido calibrado con datos de Argentina obtenidos en la encuesta discutida en el Capítulo 6. Al mismo tiempo, el caso de estudio utilizado para la validación proviene de una fuente que es independiente y cuyas características fueron discutidas en el Capítulo 5. Se valida que el modelo es capaz de generar pronósticos sobre las frecuencias de adopción de SEI-CMMI™ en Argentina que son comparables en forma estadísticamente significativa con el caso de estudio. Se lo considera este resultado como una validación operativa razonable.

7.7.2. Validación por expertos

El modelo y una selección de los resultados obtenidos en las ejecuciones fueron presentados por invitación en el *Second Workshop of Measurement and Analysis for High Maturity Organizations*, organizado por el SEI en 2008 [Colla-Montagna2008e]. Ante una audiencia de expertos de la industria, de la academia y del SEI, se explicaron los distintos factores del modelo y sus relaciones. Se presentaron, además, las técnicas constructivas y una muestra de los resultados de las ejecuciones realizadas. Los comentarios recibidos de los expertos presentes contribuyeron a validar el modelo realizado y proveyeron consejos sobre consideraciones a tener en cuenta. El modelo, con mejor grado de elaboración y con las recomendaciones incorporadas, fue presentado en el *3rd Workshop of Measurement and Analysis for High Maturity Organizations*, organizado por el SEI en 2009 [Colla-Montagna2009].

Los comentarios recibidos son positivos respecto a la estrategia de implementación y los factores considerados. Al mismo tiempo, los resultados obtenidos se consideran una predicción válida y ajustada del comportamiento de organizaciones realizando inversiones en SPI utilizando SEI-CMMI™. La presentación de este modelo en los Workshops de SEI permitió corroborar la falta de antecedentes en esta dirección y los aportes que realiza en este campo.

7.8. Resumen

En los primeros capítulos se revisaron los conceptos teóricos y metodológicos que rodean la construcción de un modelo. Posteriormente, se revisaron los factores y relaciones que, juntos, dan forma al modelo conceptual. Finalmente, se obtienen del sistema real datos para entender los detalles de su comportamiento. Todos estos elementos son condición necesaria, pero ciertamente no suficiente, para obtener un modelo que represente al sistema real.

Es en la construcción donde se completan las decisiones que eventualmente conducirán a un modelo que refleje, razonablemente, el comportamiento del sistema real. La primera decisión tomada fue que la arquitectura de ejecución más conveniente consiste en implementar un modelo de segundo grado, es decir, de dos niveles. Esto tiene dos ventajas: la primera de representación y la segunda de funcionalidad.

La ventaja de representación consiste en mostrar en forma “natural” cómo ven las organizaciones al proceso de inversión en SPI. Son, en definitiva, un conjunto de variables independientes (decisiones a tomar). Además se definen parámetros de contexto cuyos valores no se pueden influenciar pero al menos se pueden observar y estimar su valor. Los mecanismos mediante los cuales esos factores operan en la organización para constituir una inversión exitosa son incorporados en el segundo nivel, donde no necesariamente son visibles ni comprendidos inicialmente por la organización.

La ventaja de funcionalidad es que la infraestructura utilizada para implementar el modelo, el paquete Goldsim v9.6, permite que, para ejecutar los análisis de sensibilidad, las variables a validar estén en un modelo de orden superior y el resto en un subsistema de nivel inferior. El análisis de sensibilidad es una herramienta muy poderosa para realizar la verificación, la validación y será considerada posteriormente en el análisis de escenarios.

Programar un modelo estocástico parece aumentar la incertidumbre de los resultados, ya que dejan de tratarse valores concretos y comienzan a obtenerse, en cambio, distribuciones de probabilidad. En realidad, los valores determinísticos son una ilusión, que en el mejor de los casos representan una situación promedio que las organizaciones deben aceptar, más allá del perfil de aceptación o aversión al riesgo que tengan. Un modelo estocástico, en cambio, permite a cada organización tomar decisiones basadas en su propio perfil de riesgo. Por ejemplo, una organización aversa al riesgo es probable que se niegue a progresar en una inversión si sus probabilidades son mucho menores que el 90%, el 95% o incluso cercanas a la certeza. Bajo la misma configuración de factores, otra organización puede progresar con su inversión con una probabilidad de sólo el 75% de éxito, o meramente superior al 50%. Incluso, puede realizar una apuesta y realizar la inversión con probabilidades aún menores.

La decisión más crucial es tomada al establecer las definiciones operativas de los factores, es decir, qué valores, qué rangos y qué distribuciones son las adecuadas para representarlos. El cuerpo teórico discutido en el Capítulo 2 y el Capítulo 3 ciertamente guía en cuáles son los valores más probables para cada factor y con qué criterios se le puede asignar una distribución si ésta no es clara en la evidencia empírica. Aún en los casos en que la evidencia sugiera una distribución, por ejemplo normal en el caso del tiempo de implementación o el esfuerzo por nivel, es necesario aplicar juicios

de valor al utilizar, o no, los mínimos y máximos observados en la evidencia empírica. Se ha optado por utilizar en la representación de variables sólo rangos de valores observados en la evidencia empírica; al hacerlo se sigue las recomendaciones discutidas en el Capítulo 3.

A continuación se presenta el dilema de asignar valores que son empleados en el modelo conceptual, como por ejemplo la probabilidad de éxito ξ o el factor de reducción de riesgo λ , pero que la literatura no los menciona ni provee datos firmes para su cálculo. Se provee en apéndices un posible criterio para estimar sus valores, pero éstos deben ser considerados sólo preliminares. Se progresa en la convicción que su necesidad teórica ha sido justificada y formas más precisas de calcular los valores probables podrán ser establecidas por trabajos futuros.

El modelo ya programado enfrenta la decisión crucial de ser aceptado como una representación válida del sistema real. El alcance establecido es modesto y preliminar ya que es, después de todo, un primer intento. Aún así, con los mecanismos disponibles, y utilizando dos medios independientes, se valida que la ejecución del modelo representa en un grado adecuado los resultados que una organización debería esperar de sus inversiones en SPI. Finalmente, es ineludible utilizar la experiencia como un recurso en el proceso de desarrollo del modelo. La estrategia para adquirir experiencia durante esta investigación ha sido la participación directa y cumpliendo diferentes roles, en varias iniciativas SPI donde las organizaciones involucradas han alcanzando madurez según SEI-CMMI™ en niveles 2, 3, 4 y 5. Al mismo tiempo, es evidente la importancia de obtener comentarios de revisores y expertos, por lo que fueron publicados los diferentes resultados intermedios en congresos y conferencias con referato con el fin de obtener consejos, sugerencias y opiniones.

En las etapas finales del desarrollo, se apeló a presentar el modelo y sus resultados ante una audiencia de expertos de la academia, en particular los Dres. Raffo, Goldenson y Konrad del staff del SEI responsable de SEI-CMMI™, con resultados muy positivos.

El modelo ejecutable y validado queda ahora disponible para realizar evaluaciones mediante “escenarios” donde sean exploradas determinadas dependencias respecto de las variables independientes y estrategias de implementación.

“Seis hombres ciegos escucharon de un animal maravilloso llamado elefante. Puesto que eran ciegos sólo podían sentir la forma de elefante con sus manos. Con el tiempo cada uno pudo sentir al elefante

...el primero dijo "ahora sé que el elefante es como una gran columna..."

...el segundo dijo "no mi gran amigo, el elefante es como una gran pared..."

...el tercero dijo "el elefante es como una palma de cuero..."

...el cuarto dijo "el elefante es como un gran sable..."

...el quinto dijo "es como un pedazo de sogá..."

...finalmente el sexto dijo "ustedes mis amigos son tan ciegos con sus manos como con sus ojos, el elefante es como una fuente." Los hombres comenzaron a discutir hasta que el cuidador interrumpió la disputa diciendo "mis amigos, todos Uds. tienen razón y al mismo tiempo están equivocados. Cada uno ha sentido una parte del elefante, pero no todo. Uno sintió la pierna, otro el cuerpo, un tercero la oreja, otro los colmillos, la cola y finalmente la trompa".

Historia antigua adjudicada al sabio filósofo Nasreddin (1209-1275).

Capítulo 8 Evaluación de Escenarios

Este capítulo utiliza el modelo, cuyo desarrollo y verificación se describió en capítulos anteriores, para analizar escenarios de interés capturados en la bibliografía y durante el trabajo de campo, de modo de identificar las dependencias y comportamientos del sistema real. Durante el proceso se encuentran y discuten algunas paradojas. Se utiliza, finalmente, el modelo para evaluar decisiones relativas a estrategias alternativas de despliegue del esfuerzo SPI.

8.1. Introducción

Al disponer de un modelo ya validado, como resultado del trabajo en los capítulos anteriores, es necesario decidir cuál es la mejor forma de usarlo y qué clase de problemas se deben resolver con él. Una posible forma de organizar una ejecución del modelo es permitir que los valores de todas las variables independientes sean elegidos estocásticamente dentro de rangos definidos y razonables. Ese escenario aportaría poca información, porque sería difícil entender cómo cada variable contribuye a las distintas respuestas.

Se considera, en cambio, más útil realizar ejecuciones con conjuntos de valores de las variables independientes que sean apropiados, los más probables por ejemplo, de forma de estudiar como se comporta la inversión en SPI en el escenario así determinado. Este procedimiento lleva, en parte, a repetir los análisis de sensibilidad utilizados para validar el modelo en el Capítulo 7, sólo que en esta oportunidad con mayor detalle y analizando las implicancias.

Se pondrá énfasis durante el análisis en comprender cómo son los resultados para diferentes

tamaños de organizaciones. Serán de especial interés las organizaciones que tengan hasta 100 personas, puesto que éstas constituyen la enorme mayoría en el mercado utilizado para calibrar el modelo. Para ello, en cada ejecución se repetirá la evaluación para tres segmentos de tamaño. Al efecto de los estudios a realizar, aquellas organizaciones que tengan hasta 20 personas se definirán como pequeñas. No es imposible que éstas aborden inversiones en SPI pero, como se verá, es poco probable que tengan la masa crítica para justificar una inversión exitosa de no agregar oportunidades adicionales a las mejoras puramente operativas.

Se considerarán organizaciones medianas, o intermedias, a aquellas que tengan hasta 50 personas y, finalmente, organizaciones grandes a aquellas que tengan 100 o más personas. Por encima de este límite, las probabilidades de tener una inversión viable no cambian significativamente, aunque el caso de inversión se hará progresivamente más atractivo. Es decir, el valor del proyecto de inversión en SPI será más grande pero su probabilidad no se incrementará significativamente.

Al completar el análisis para las distintas variables independientes y parámetros, se abordarán escenarios más complejos. El primer escenario especial consistirá en determinar qué crecimiento proyectado es necesario considerar para justificar una inversión SPI. El segundo escenario especial explorará si es más conveniente para una firma progresar directamente a nivel 3 o si conviene hacerlo primero a nivel 2 y luego a nivel 3 en inversiones sucesivas. En un tercer escenario se estudiará qué estrategias de implementación influyen el resultado de la inversión en SPI y, potencialmente, mejoran sus chances de éxito. Finalmente, se revisará qué proporción del personal tendrá que asignar la organización para esperar una inversión exitosa en SPI.

8.2. Ejecución del modelo

El modelo implementado mediante el uso de la plataforma GoldSim® versión 9.6 (licencia académica) se corresponde al construido y validado en los capítulos anteriores. Las condiciones generales de prueba estarán dadas por el siguiente perfil, excepto que se indique lo contrario en cada ejecución.

- Evaluación para SEI CMMI™ Nivel 3, progresando desde Nivel 1.
- Ingresos derivados nulos ($I_{FV}=0$).
- Costo por ingeniero representativo de mercado argentino ($CPE=USD\ 36480$ / Año).
- Sin reducciones de riesgo ($\lambda=1$).
- Sin hipótesis de crecimiento de organización ($g=0\%$).
- Horizonte de inversión amplio ($t_p=48$ meses).

- Costo de oportunidad estimado efectivo anual de mercado tecnológico ($r_{TEA}=15\%$).
- Premio por tiempo o tasa libre de riesgo efectiva anual ($r_f=3\%$).

En diferentes ejecuciones se observa que la probabilidad de tener una inversión rentable, es decir que el VPN sea mayor a cero, se hace prácticamente certeza y progresivamente insensible a la variación de parámetros en ejecuciones para organizaciones grandes ($N \geq 100$ personas). A modo de ejemplo se toma nuevamente la Figura 7-10, donde la distribución obtenida coloca la mayoría de los resultados probables a la derecha del valor cero, por lo que se puede considerar que la probabilidad que la inversión en SPI sea exitosa es, prácticamente, del 100%, es decir, cercana a la certeza. Este resultado en sí mismo puede no aportar valor. Sin embargo el modelo puede ser utilizado, aún en ese caso, para obtener la probabilidad de obtener un VPN igual a cierta magnitud concreta, por ejemplo, el que se pronostica obtener con otra inversión en competencia de recursos con el esfuerzo SPI. De esta forma, se puede estudiar cuál es el comportamiento relativo entre ambas. En los distintos análisis se enfatizará, sin embargo, el estudio de las condiciones de mínima para una inversión rentable, es decir, que cumpla la condición de $VPN \geq 0$.

8.2.1. Sensibilidad al tamaño de la organización

Uno de los escenarios de mayor interés consiste en poder estudiar el comportamiento de la inversión respecto al tamaño de la organización que la realiza. El tamaño de la organización ha sido un factor encontrado recurrentemente en el relevamiento bibliográfico y en la propia experiencia como inhibidor de inversiones SPI, tanto por razones objetivas como subjetivas. Este análisis adquiere particular interés a partir de entender que la población de empresas que podrían beneficiarse por inversiones en SPI está constituido predominantemente por organizaciones PyMEs, las cuales tienen la percepción que los esfuerzos formales en torno al despliegue de SPI basado en modelos de calidad está fuera de su escala. Pero, ¿cuál es la escala que define la viabilidad?

Ejecutando el modelo se observa que la probabilidad de satisfacer la condición de VPN mayor que cero aumenta con el tamaño de la organización N , según puede verse en la Figura 8-1 para distintas hojas de ruta en el incremento de madurez.

Las mejoras de Nivel 1 (L1) a Nivel 3 (L3) requieren algo más de 50 personas para superar una probabilidad de éxito del 50%. Las mejoras de madurez de Nivel 3 a Nivel 5 (L5) tienen inversiones cuyo equilibrio en cuanto a tamaño de la organización es un poco inferior, en el entorno de algo más de 40 personas. La principal razón para esta diferencia es la influencia de la mejor chance de ser evaluado correctamente en niveles de madurez alta.

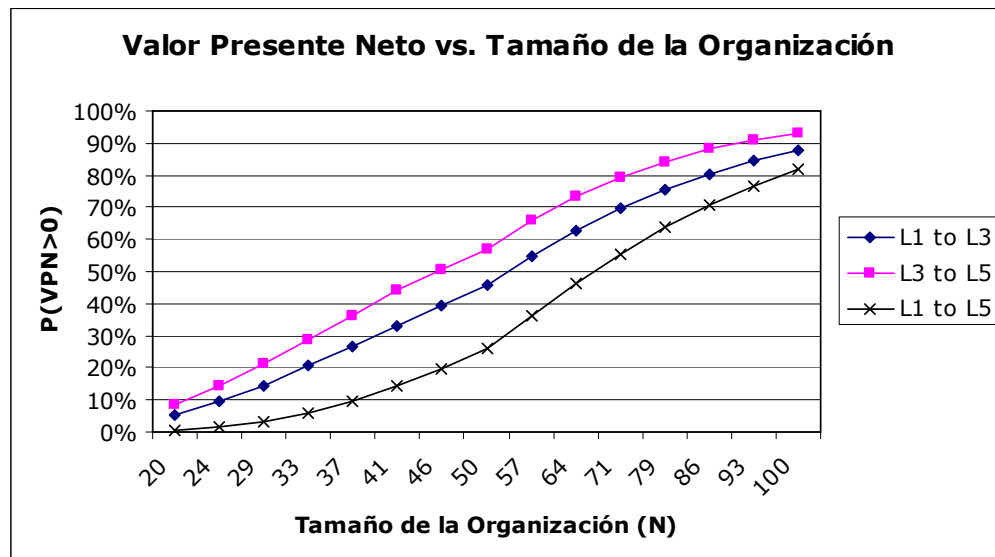


Figura 8-1 Relación entre Valor Presente Neto de Inversión y Tamaño de la Organización

Al respecto se podría estimar que alcanzar el Nivel 5 de madurez debe ser más difícil, o menos probable, que los niveles más básicos. Sin embargo, la experiencia indica que una organización que aspira a obtener niveles de alta madurez ha depurado y optimizado sus procesos internos y mecanismos de gestión, por lo que está en condiciones de tomar mejores decisiones, incluyendo la de progresar a evaluaciones sólo si tiene buenas probabilidades de éxito.

El tránsito completo de Nivel 1 a Nivel 5 se modela como dos tránsitos sucesivos, de Nivel 1 a Nivel 3 y luego, en un segundo esfuerzo, a Nivel 5. La experiencia no indica que sea habitual avanzar al máximo nivel de madurez en el primer intento. La simulación sugiere que se necesita una organización de casi 70 personas para que supere el 50% la probabilidad de que una inversión de estas características sea viable.

Las organizaciones de pequeño tamaño, si bien tienen probabilidades no nulas de tener una inversión exitosa en SPI, no tienen un caso de negocios inicialmente alentador. Aún así, se puede notar que no son necesarias organizaciones demasiado importantes en tamaño para que puedan comenzar a tener probabilidades significativas. En el entorno de 50 ó 70 personas, según el nivel, las probabilidades se tornan favorables. En realidad, el análisis se está haciendo sobre una línea de base muy cautelosa y, como se verá posteriormente, al considerar hipótesis de crecimiento u otros escenarios estratégicos asociados a la inversión en SPI se puede mejorar substancialmente el caso de inversión, aún de las organizaciones más pequeñas. Estos escenarios serán explorados posteriormente para comprender qué factores pueden impulsar a una organización a tener un caso favorable de inversión en SPI pese a su tamaño.

En el otro extremo y superado un tamaño organizacional del orden de 100 personas, la inversión tiene un pronóstico de probabilidad muy elevada de éxito con prácticamente cualquier

escenario.

Los límites de factibilidad están relacionados con la magnitud de los beneficios que se obtienen de la inversión SPI por mecanismos de reducción de esfuerzo; debido a ello, como hemos visto, las organizaciones mas pequeñas tienen una base de producción más chica para compensar los costos de despliegue de nuevos procesos. Al seleccionar los límites para la reducción de esfuerzo se utilizaron los rangos medios informados por Clark; sin embargo, es útil al escenario observar que ocurre cuando se adoptan los valores superior e inferior del 95% de confianza.

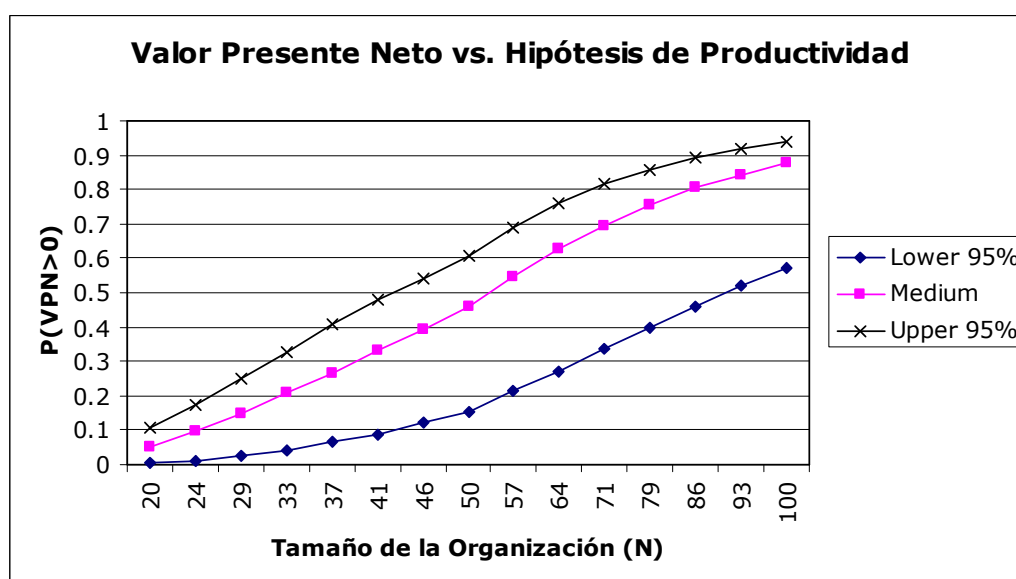


Figura 8-2 Relación entre tamaño de organización y resultado de SPI para distintos niveles de productividad.

La visión más optimista, dada por el límite superior de confianza no cambia substancialmente el caso para los distintos tamaños de las organizaciones. La visión más pesimista muestra cambios substanciales para las organizaciones pequeñas y medianas; las organizaciones grandes siguen teniendo chances significativamente altas de una inversión en SPI viable.

8.2.2. Sensibilidad al horizonte de inversión

Si se considera a la inversión en SPI como un sistema, el horizonte de inversión definido por la organización es el equilibrio entre dos tendencias opuestas. El tiempo de implementación es constante y significativo y, dado que los beneficios ocurren luego de la implementación, cuanto mayor sea el horizonte de inversión, la iniciativa tendrá más chances de obtener beneficios y, por lo tanto, el caso de inversión será más viable. En sentido contrario, la percepción de riesgo de los decisores en las organizaciones querrá naturalmente conceder a la inversión un tiempo tan corto como sea posible para demostrar su viabilidad.

La experiencia muestra consistentemente el deseo de los directores de las compañías de obtener resultados en las inversiones en plazos más cortos que los aconsejables en base a consideraciones puramente técnicas. Como se ha visto, esto puede explicarse como una estrategia de mitigación de riesgos percibidos como más elevados. Este comportamiento también ha sido observado empíricamente (Capítulo 6).

Ejecutando el modelo es posible evaluar cuál es la influencia del horizonte de inversión en la viabilidad de la misma. Los resultados pueden verse en la Figura 8-3.

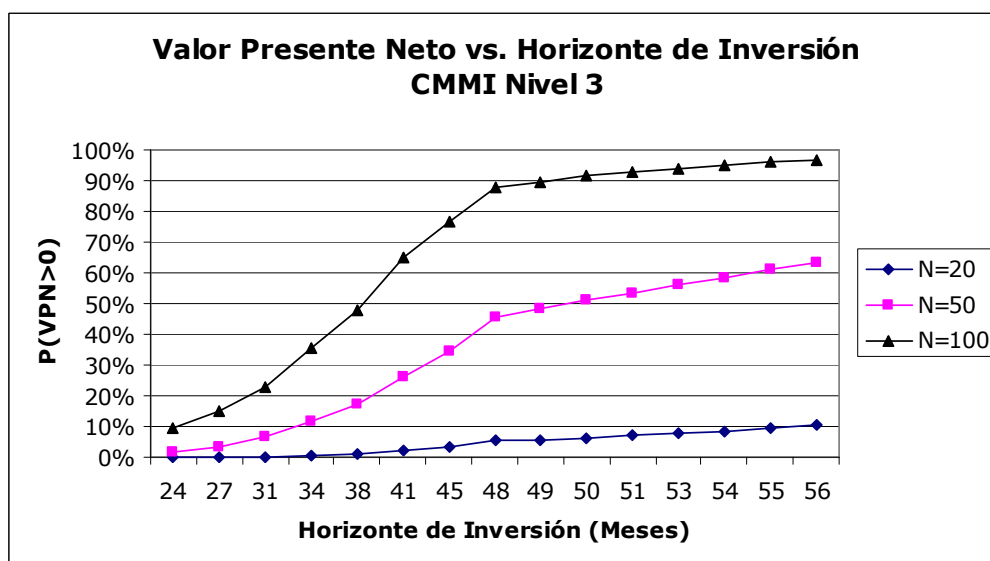


Figura 8-3 Relación entre VPN de la inversión en SPI y el horizonte de planeamiento (CMMI Nivel 3)

En el extremo inferior del horizonte considerado, 24 meses, la evaluación del caso de inversión no tiene una probabilidad significativa de ser viable para organizaciones de ningún tamaño. Aún así, más del 85% de las organizaciones desean establecer horizontes de inversión de 36 meses o menos, y el 93% de 48 meses o menos.

En caso de poder conceder horizontes más grandes, las organizaciones medianas comienzan a tener un caso probable aunque de riesgo elevado (probabilidad superior al 50%) con horizontes superiores a 48 meses. Las organizaciones pequeñas, aún con horizontes muy importantes, 56 meses, siguen sin tener un caso atractivo.

Esto indica que no basta solamente con expandir el horizonte de inversión para atraer organizaciones pequeñas, sino que es necesario explorar otras estrategias para alentar inversiones SPI en ese segmento.

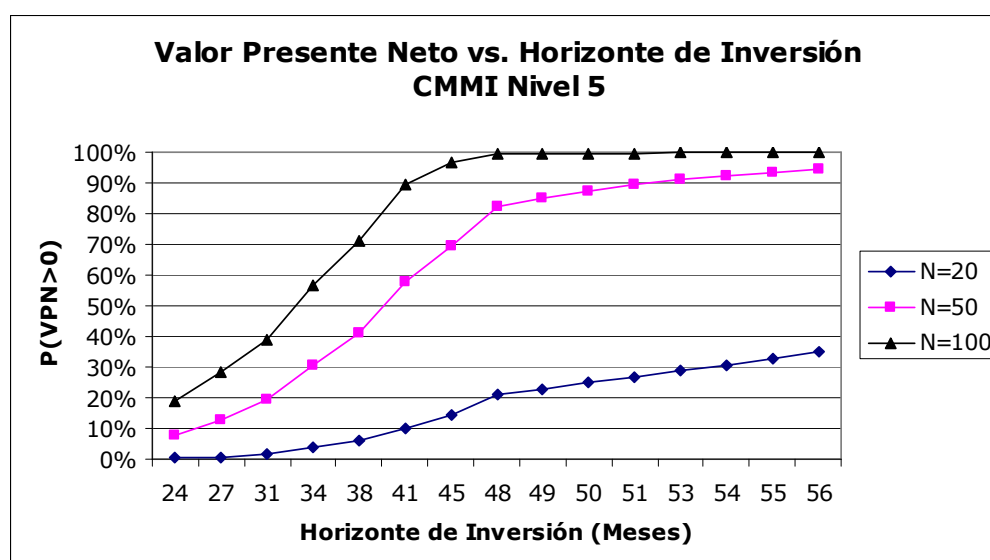


Figura 8-4 Relación entre Valor Presente Neto y Horizonte de Planeamiento (CMMI Nivel 5)

Cuando se repite el análisis para el tránsito entre nivel 3 y nivel 5 de madurez se observa un patrón similar, pero ligeramente más restrictivo, puesto que las organizaciones pequeñas prácticamente no tienen chance de tener un caso positivo dentro de horizontes de inversión razonables. La situación no varía significativamente respecto al caso anterior para organizaciones medianas y grandes, según se observa en la Figura 8-4.

Este resultado sugiere la importancia de trabajar sobre instrumentos técnicos que reduzcan el tiempo de implementación, dando más margen a coleccionar beneficios dentro de un mismo horizonte de inversión. Algunas estrategias posibles se explorarán posteriormente en este capítulo.

8.2.3. Sensibilidad al costo de evaluación

El marco teórico y la experiencia muestran que las organizaciones, sobre todo las pequeñas y medianas, son reticentes a abordar mejoras de sus procesos basadas en SEI-CMMI™ debido principalmente a la inversión necesaria, y en particular, a los costos de la evaluación formal.

En el caso de Argentina, la Ley 25.922 provee incentivos de tipo fiscal que permiten absorber parte de los costos propios de evaluación. Sin embargo, y por distintos motivos, no todas las organizaciones desean o pueden acogerse a los beneficios de la ley.

En una visión más general, no todas las geografías proveen incentivos sobre el costo de evaluación. Por ello, es importante evaluar cuál es la sensibilidad del escenario de inversión a la variación del costo de evaluación, lo que puede ser visto en la Figura 8-5.

El resultado, en términos de la probabilidad de inversión exitosa, no varía significativamente en un espectro amplio de variaciones del costo de evaluación. Esto contrasta con la percepción, obtenida en la práctica, que considera al costo de evaluación como uno de los escollos más

significativos en términos de esfuerzo financiero de la organización al realizar una inversión en SPI. Lo que se pierde de vista, posiblemente, es que si bien se trata de una erogación significativa, queda desplazada por el costo del esfuerzo organizacional necesario para implementar la inversión en SPI, que es muy superior al costo de evaluación.

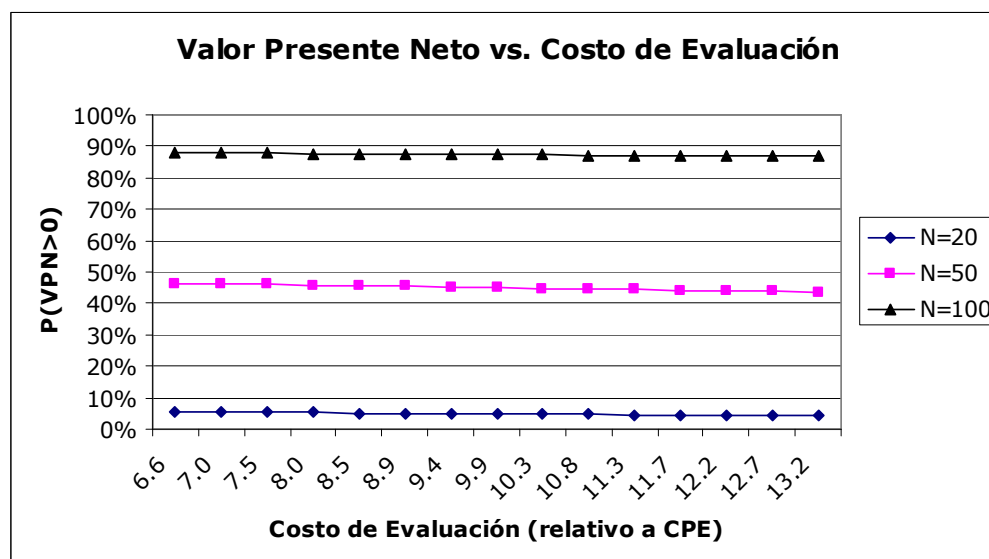


Figura 8-5 Relación entre VPN y costo de evaluación

Como era esperable, las organizaciones pequeñas muestran una sensibilidad mayor con su probabilidad de éxito cayendo casi 2% con variaciones 2:1 en el costo de evaluación. Aún así, es una variación pequeña, tanto en términos relativos como absolutos. Las firmas medianas tienen una sensibilidad similar, cayendo también sólo un 2% para la misma variación. Finalmente, el resultado en las organizaciones grandes demuestra que éstas son prácticamente insensibles a este factor.

Conceptualmente, se puede explicar este comportamiento a partir que los costos de evaluación son mayormente fijos y, por lo tanto, una organización más grande tendrá una base mayor de distribución del impacto y recupero luego de la implementación. La evaluación ocurre en una etapa tardía del proceso de implementación, por lo cual su impacto se reduce financieramente por efecto del descuento de flujos futuros. Adicionalmente, la organización tiene en todo momento la opción de no incurrir en ese paso suponiendo que se tuviera la percepción de riesgos en obtener resultados desfavorables.

Resta abordar los efectos en la inversión cuando se considera la naturaleza cíclica de las evaluaciones, debido a que caducan cada 3 años luego de realizadas. Esto implica que mantener el nivel evaluado impulsa renovaciones periódicas. Esto puede ser percibido como una carga financiera adicional.

Es posible introducir la consideración de este impacto sin modificaciones significativas en el

modelo desarrollado. En efecto, los beneficios en productividad asumidos luego de la primera evaluación exitosa se han considerado ya netos de los costos necesarios para mantener el proceso vigente actualizado y alineado con las necesidades del negocio. Esto nos permite asumir que para revalidar el nivel de madurez será necesario solamente incurrir en eventos periódicos de evaluación, los que se ha visto que tienen asociado un costo.

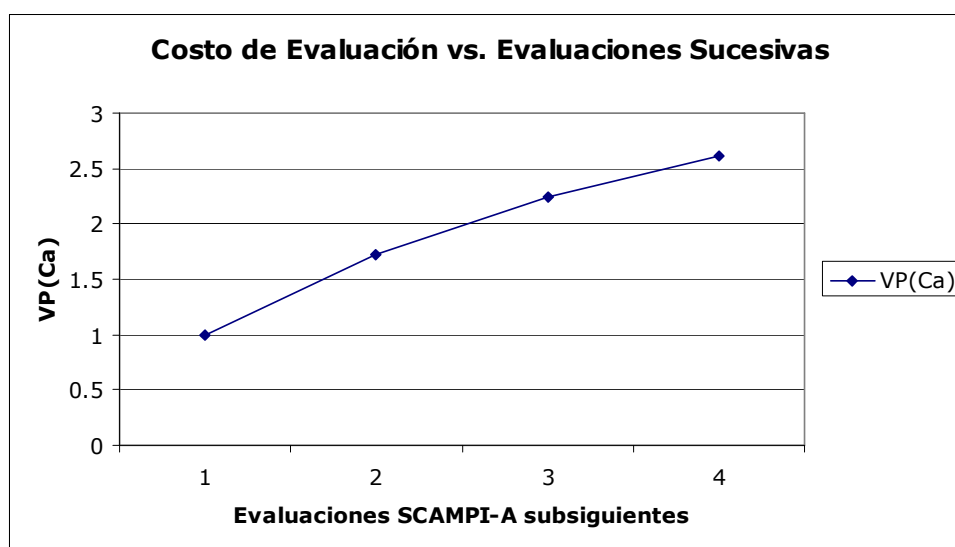


Figura 8-6 Incremento de costo de evaluación con evaluaciones sucesivas

Como estos eventos ocurren, como máximo, a intervalos periódicos cada 36 meses luego de la evaluación inicial, es posible calcular el valor presente de cada esfuerzo futuro de valuación proyectado al momento de la primera. Esto es, el costo total de evaluación C_{aTOTAL} estará dado por

$$C_{aTOTAL} = Ca \times \left(1 + \frac{1}{(1+r')^{36}} + \frac{1}{(1+r')^{72}} + \dots \right) \quad \text{Ec 76}$$

Dado que el costo de la primera evaluación se descuenta a su vez al presente, cualquier agregado que se le haga al mismo también será descontado al presente e incorporado en el cálculo del VPN de la inversión. El efecto neto de proyectar el valor presente de evaluaciones futuras sobre la primera puede verse también cómo incrementar en una determinada proporción el valor de la primera evaluación tal como lo muestra la Figura 8-6. Cuando se realiza esta corrección y se reanuda la ejecución, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 8-7.

En esta ejecución se calcula cómo cambia la probabilidad de tener una inversión SPI exitosa al considerar sucesivas evaluaciones. La variación según el tamaño de la organización sigue siendo relativamente menor aún luego de considerar múltiples ciclos de revalidación.

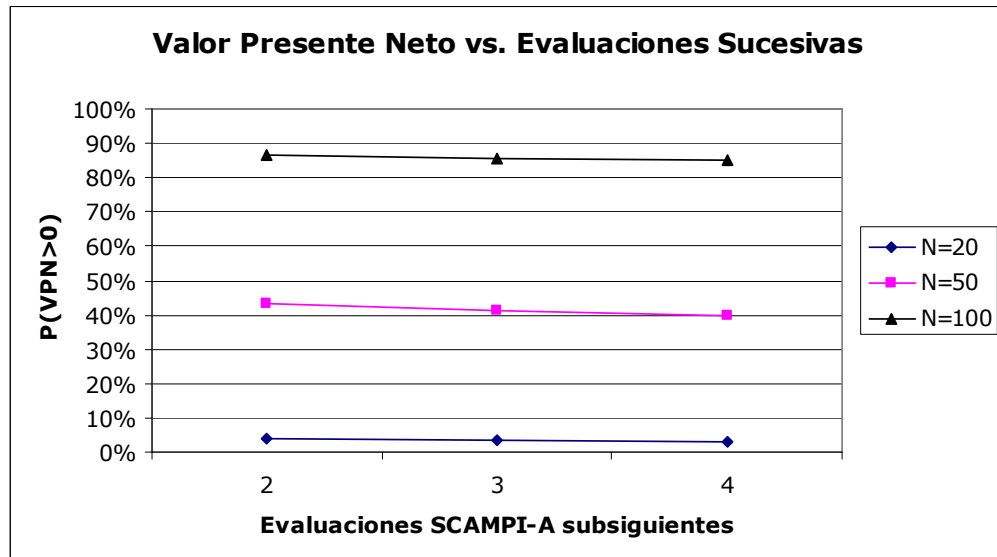


Figura 8-7 Relación entre el VPN y el costo de evaluaciones futuras sucesivas

Para las organizaciones pequeñas y grandes ésta es del orden del 1 al 2%. Para las organizaciones medianas implica una mejora del orden del 3% en las chances de obtener una inversión viable en SPI.

8.2.4. Sensibilidad al costo por ingeniero

En la medida que el CPE se incrementa, la probabilidad de obtener un VPN positivo también lo hace ligeramente, como muestra la Figura 8-8. Este comportamiento se debe que los mayores valores absolutos obtenidos por la mejora de productividad retornan más rápidamente los componentes fijos del costo de implementación de las mejoras de proceso.

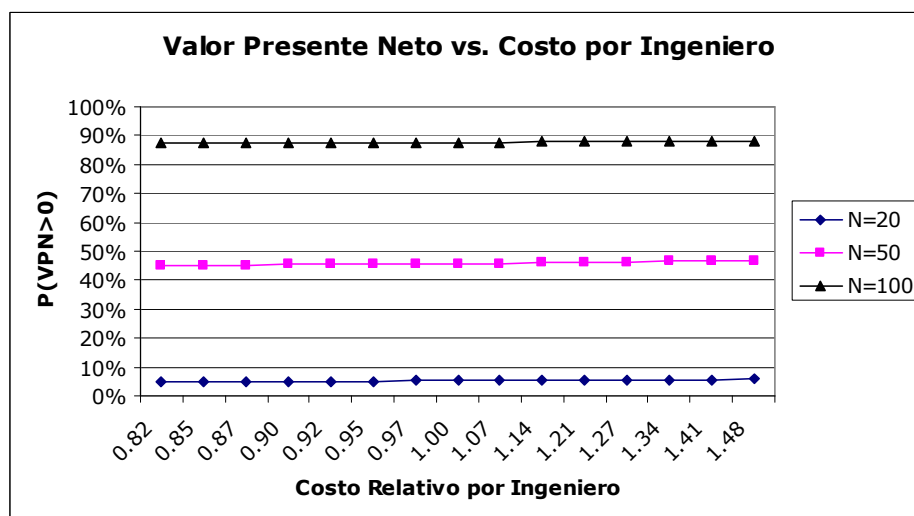


Figura 8-8 Relación entre Valor Presente Neto y Costo por Ingeniero

La sensibilidad del resultado de la inversión a variaciones del Costo por Ingeniero son

prácticamente despreciables.

8.2.5. Sensibilidad al costo de oportunidad

El costo de oportunidad de una organización intenta capturar el riesgo con el que ésta opera. Las empresas pequeñas serán más riesgosas que las más grandes debido a que sus operaciones son más inciertas. Al incrementarse el costo de oportunidad utilizado por la organización, se reducen las chances que el VPN sea positivo pues sus ingresos, al encontrarse en el futuro, resultan disminuidos por efecto del descuento financiero más fuertemente que los egresos que ocurren en etapas más tempranas. Este impacto puede verse en la Figura 8-9.

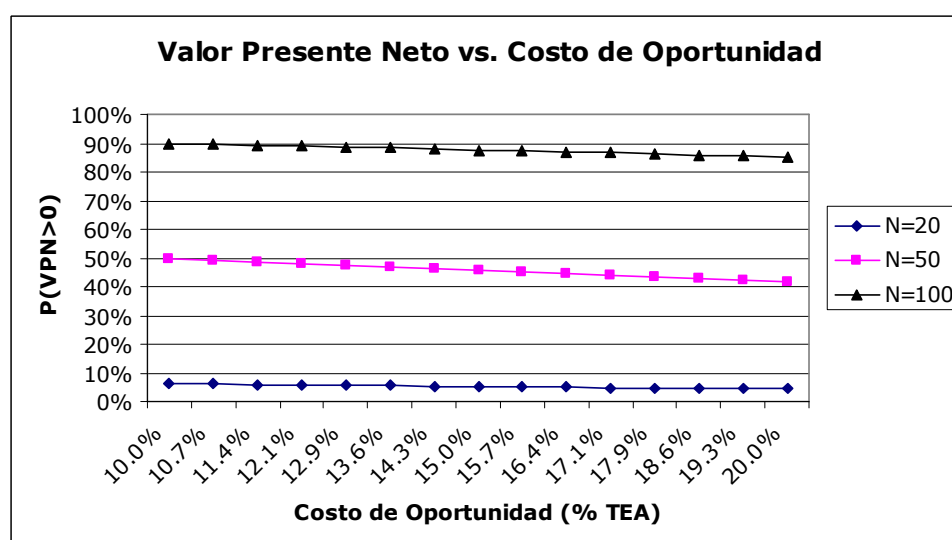


Figura 8-9 Relación entre VPN y costo de oportunidad

Las empresas pequeñas experimentan impactos muy reducidos. Las empresas grandes tienen también un impacto relativamente menor. Por su parte las empresas medianas presentan un impacto más importante que en otros grupos del orden del 6% de cambio en las chances para una variación de 10% en el costo de oportunidad. Esto se puede explicar a partir que los ingresos son mayores y resultan afectados, por lo que el caso de inversión se deteriora marcadamente.

Puesto que las organizaciones medianas tienden a operar con costos de oportunidad más altos que las de mayor tamaño, éste es un aspecto donde es posible alentar a este grupo de empresas mediante la provisión de líneas de créditos o incentivos fiscales para poder impulsar la adopción de esquemas SPI en este segmento.

Esta evaluación muestra también que operar sobre este factor en empresas pequeñas tendrá un impacto marginal en las probabilidades de la inversión en SPI.

8.2.6. Variación de la tasa libre de riesgo (r_f)

Este escenario es conceptualmente importante por ser la tasa libre de riesgo una variable macroeconómica fuera del control de la organización pero que, al mismo tiempo, puede comandar las decisiones de inversión al influir en el costo de capital.

Sin embargo, no es necesario ejecutar este escenario puesto que se puede asimilar al caso ya evaluado de variación del costo de oportunidad.

8.2.7. Variación del factor de reducción de riesgo

Durante la construcción del modelo conceptual (ver sección 4.5.3), se discutieron las razones por las que se debía considerar que abordar inversiones en SPI necesariamente debe impulsar la reducción del riesgo con el que opera una organización, a medida que aumenta su madurez. Se exploró entonces la definición de un parámetro denominado factor de reducción de riesgo λ .

No se trata de una variable independiente, ya que en principio sus valores no están sujetos a decisión por parte de la organización, como por ejemplo el nivel SEI-CMMI™ objetivo. Tampoco está definido por el contexto donde se desenvuelve la inversión en SPI. Aún así, es importante comprender qué tan sensible es el resultado del modelo a los posibles valores de este factor puesto que determinan la magnitud de la contribución a la inversión SPI que resulta de la reducción en el riesgo de la ejecución de los desarrollos. Se aprovecha la posibilidad, dada por la implementación realizada, de controlar el valor de este factor en forma externa y realizar una ejecución para distintos tamaños organizacionales. El caso evaluado es el de una organización intentando obtener nivel 3. El resultado puede verse en la Figura 8-10.

Cuanto más grande es el valor de λ , menor es la influencia en la reducción de riesgo. En el extremo, con $\lambda=1$ no hay ninguna reducción de riesgo. Como se había visto, esta condición se corresponde a estados de proceso con igual variabilidad y, por lo tanto, igual incertidumbre. Dado que el riesgo es impulsado por la incertidumbre, esto implica por lo tanto igual riesgo.

Puede observarse que este factor tiene, como en otros escenarios, influencia relativamente más importante en organizaciones medianas y su consideración, por si sola, puede mejorar las perspectivas de la inversión en casi 10% dentro de los extremos del rango evaluado como esperable. Al igual que en los escenarios relacionados con el costo de oportunidad, las organizaciones pequeñas tienen poco que recuperar y por lo tanto la incidencia de este factor es relativamente reducida.

En este escenario sólo se tiene en cuenta la mejora del perfil de inversión debido a la reducción de riesgo en la performance de la organización, producto de las actividades en SPI. En el siguiente escenario se verá cuál es el efecto si este factor se considera sobre activos subyacentes.

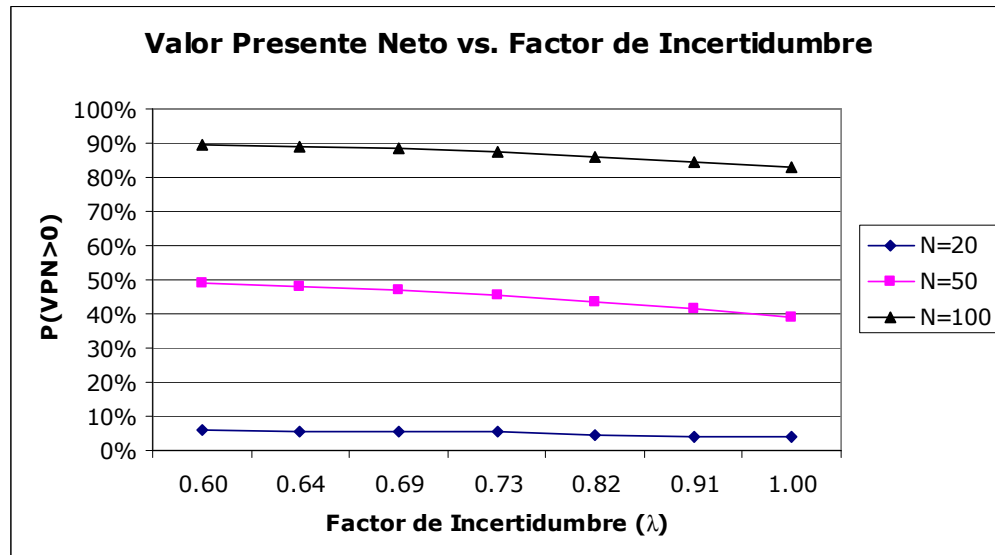


Figura 8-10 Relación entre Valor Presente Neto y Factor de Incertidumbre

El impacto del factor λ es de difícil observación por evidencia directa; por esta razón la evaluación del escenario intenta explorar los límites y magnitud relativa de aplicabilidad que se muestran preliminarmente como significativas.

8.2.8. Mejora en incertidumbre de activos subyacentes (I_{FV})

Si hay un activo cuyo flujo de beneficios depende del desarrollo de un software, es legítimo tomar las mejoras de su valuación que se produzcan a partir de la menor incertidumbre en los resultados que produce la inversión SPI. Por otra parte, se exploró en la sección anterior en qué magnitud la reducción de incertidumbre mejora otros resultados, como por ejemplo los flujos futuros por mejor performance.

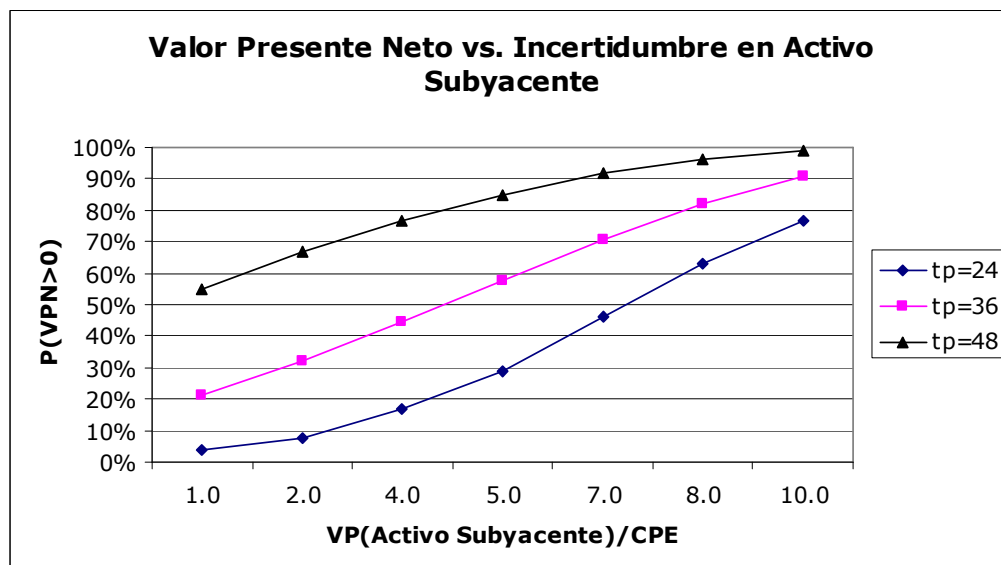


Figura 8-11 Relación entre VPN y mejora financiera en rendimiento de activos subyacentes

Se analizará ahora el efecto en el valor de un activo subyacente. En el modelo conceptual se identificó una variable denominada I_{FV} , con la cual los beneficios de este origen se expresan en términos de costos promedio por ingeniero CPE.

En esta ejecución se revisará de qué magnitud deben ser los activos subyacentes para que la mejora en la incertidumbre aporte valor al caso de inversión SPI de una empresa mediana, en un grado tal que altere significativamente su viabilidad. El resultado puede verse en la Figura 8-11.

Este análisis muestra la notable influencia que puede tener este factor en organizaciones medianas, donde con la existencia de activos subyacentes suficientemente importantes la viabilidad del proyecto se incrementa significativamente, al punto de permitir reducciones significativas en el horizonte de inversión. Es entonces posible conjeturar que, para determinadas organizaciones, este factor puede ser una explicación plausible para abrazar una iniciativa SPI. También, aquellas organizaciones donde la inversión pudiera no ser atractiva solamente en función de las mejoras de performance, podrían ser impulsadas a realizarla si existe un activo subyacente cuyo valor mejore notablemente al reducir la incertidumbre.

8.2.9. Sensibilidad a la probabilidad de éxito (ξ)

La probabilidad de éxito fue incorporada al modelo conceptual (sección 4.5.1.1) como el mecanismo para tener en cuenta el riesgo de que no se obtenga el nivel de madurez objetivo durante la evaluación formal. En el Probabilidad de éxito (ξ), se estiman posibles valores a ser utilizados. Como en el caso del factor de reducción de riesgo visto anteriormente, no está en manos de la organización alterar directamente su valor.

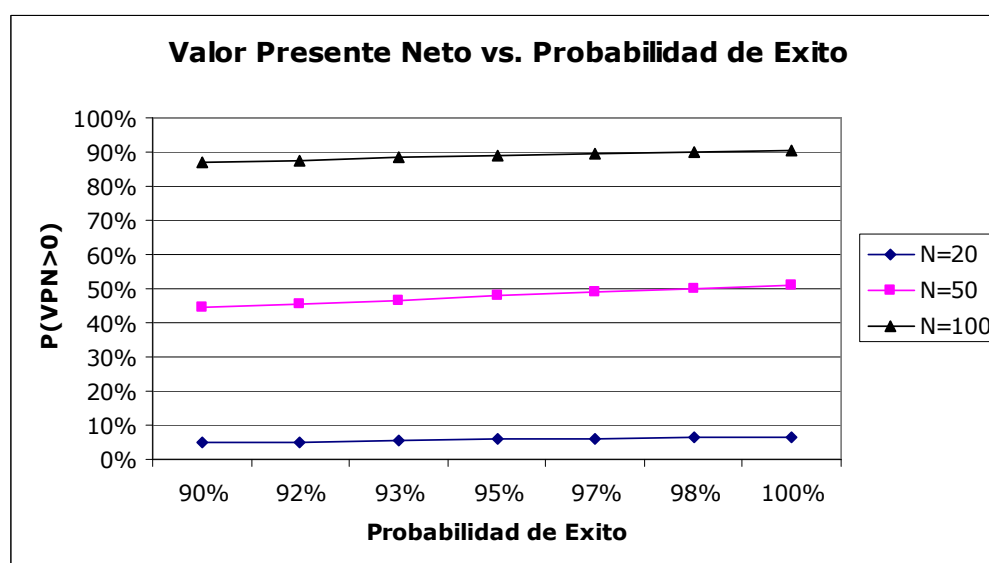


Figura 8-12 Relación entre VPN y probabilidad de éxito en la evaluación

El modelo no lo considera como una variable independiente o un parámetro, sino como una variable dependiente intermedia definida por el nivel de SEI-CMMI™ objetivo. Aún así, es relevante observar cuál es el efecto en el modelo al utilizar distintos valores. El resultado de la ejecución de este escenario puede observarse en la Figura 8-12.

Como se discutió en las secciones previas, el modelo tiene un planteo conservador. Es claro que la evaluación puede fracasar por detalles técnicos o de implementación relativamente menores y por lo tanto que el nivel de madurez no sea formalmente otorgado a la organización, pero aún así operar más eficientemente. Si esto ocurriera, la organización obtendría beneficios de la inversión de de todas formas. Sin embargo, tal como está formulado, el modelo no asigna ningún beneficio a la inversión excepto que la evaluación sea favorable, situándose por lo tanto en el peor caso. La experiencia indica que es habitual plantear inversiones desde posiciones más bien pesimistas, esto seguramente responde a un sesgo de aversión al riesgo.

La ejecución muestra que para organizaciones grandes, este efecto tiene un impacto en deteriorar aproximadamente 4% las probabilidades de inversión exitosa por una reducción de 10% en la probabilidad de evaluación exitosa.

Para organizaciones medianas, el impacto de este factor es más significativo, causando aproximadamente 1 % de reducción de probabilidad por cada 1 % de reducción en la probabilidad de éxito. Las empresas pequeñas muestran una influencia menos directa a este factor.

8.2.10. Variación de crecimiento de organización (g)

Uno de los posibles resultados del proceso SPI es la mejora de los ingresos, lo que en una organización típica de servicios, como lo son aquellas que se dedican al desarrollo de software, se deberá seguramente al crecimiento del tamaño de la organización.

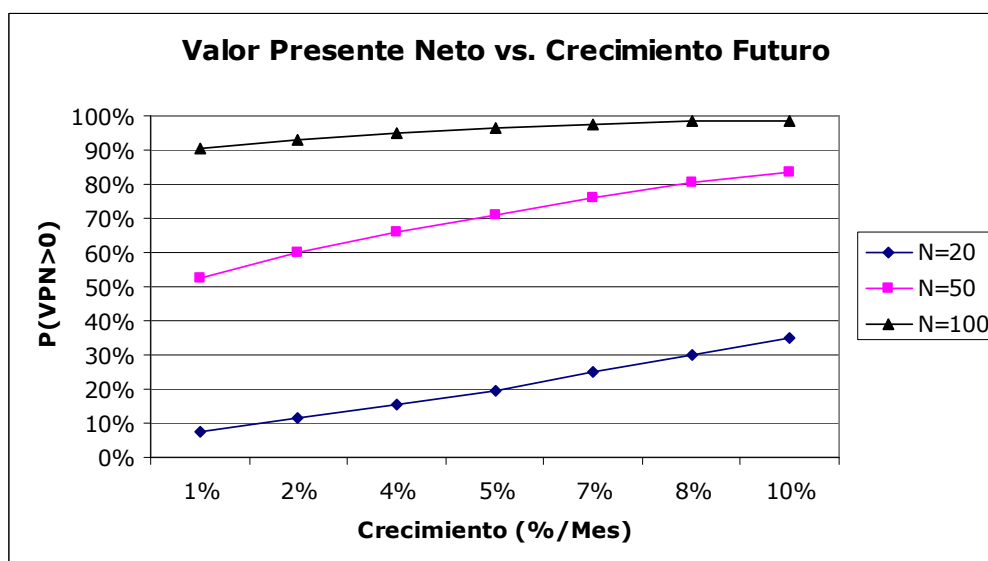


Figura 8-13 Relación de VPN con crecimiento futuro

Se evalúa en este escenario, el caso donde la organización crece a un determinado ritmo luego de alcanzar su nivel de madurez objetivo producto del esfuerzo SPI. El modelo no realiza hipótesis sobre las razones, pero ciertamente incluye el caso en el que el crecimiento sea consecuencia directa de la mayor competitividad alcanzada a partir del nuevo nivel de madurez.

El ejercicio para diferentes tamaños organizacionales puede verse en la Figura 8-13 para crecimientos planeados entre el 1% y 10% por período computado, mensual en este caso.

Se ha tomado, por conveniencia, un período mensual. El crecimiento anualizado será entre un 12,7% y algo más de un 200%, cubriendo por lo tanto un rango importante, incluso alcanzando el límite estructural de lo que puede resultar viable para el crecimiento de una organización.

Como en los casos anteriores, el escenario no presenta cambios significativos en la probabilidad de éxito de la inversión para organizaciones grandes. Para organizaciones pequeñas y medianas, el crecimiento puede impulsar cambios dramáticos en sus chances de tener una inversión SPI exitosa.

Es interesante revisar, además, los resultados de organizaciones pequeñas y medianas en relación con el horizonte de inversión, análisis que puede verse en la Figura 8-14.

Se realiza el análisis para el caso intermedio de una organización mediana ($N=50$), donde se puede observar que, al incorporar la influencia del crecimiento, una inversión bajo una definición de horizonte de 36 meses con un pronóstico no favorable cambia para tener más del 40% de probabilidades de éxito. Al mismo tiempo, el crecimiento de la organización permite transformar casos marginales en horizontes de 48 meses en prácticamente ciertos.

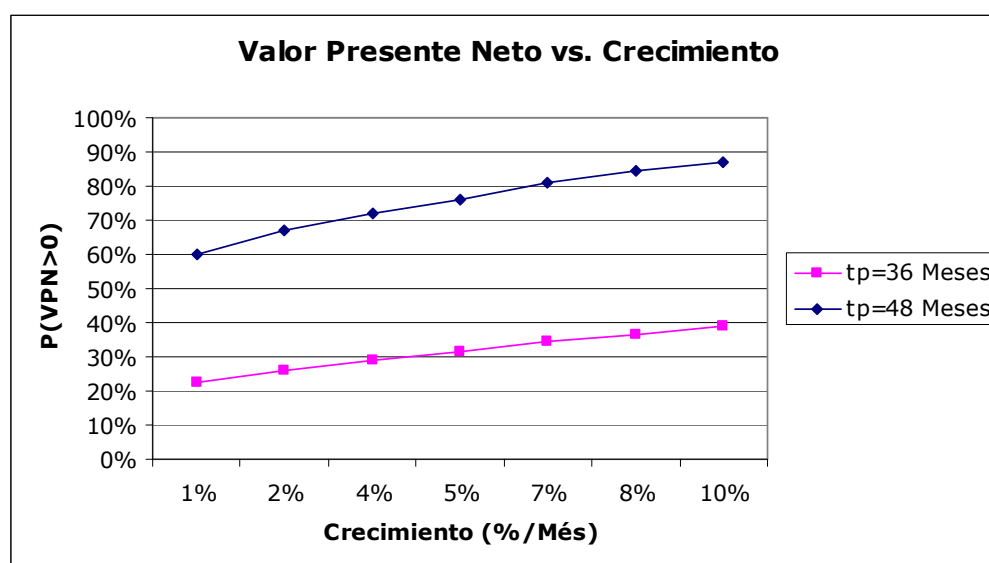


Figura 8-14 Relación entre VPN vs. Crecimiento futuro

Cabe preguntarse cuál sería el resultado en el caso que la organización tenga otras funciones

de crecimiento que la monótona creciente usada para modelar éste escenario. En realidad para cada función arbitraria de crecimiento se puede encontrar una tasa constante de aumento en el personal que sea financieramente equivalente.

Para incluir una función de ingresos arbitraria basada en crecimiento de la organización, cualquiera que ésta sea, se puede comenzar por descontarla de forma de obtener su valor presente. Una vez obtenido, es trivial calcular qué crecimiento constante provee el mismo valor presente. Si dos funciones arbitrarias de ingresos terminan generando el mismo valor presente son financieramente indistinguibles. En ese caso el modelo puede ser utilizado sin cambios a partir de la especificación del parámetro de crecimiento g calculado bajo este criterio convenientemente ajustado para representar la magnitud deseada de crecimiento.

8.3. Estudio de estrategias de inversión SPI

Se utiliza el modelo para evaluar y discutir diferentes escenarios de inversión SPI, sus resultados probables y las implicancias que se pueden interpretar de los resultados. Al efecto, se estudiará el impacto de escenarios de crecimiento, la decisión de hoja de ruta para los niveles de madurez 2 y 3, el análisis de diferentes estrategias de implementación y finalmente se abordará el estudio sobre qué proporciones de la organización están asociadas a inversiones exitosas en SPI.

8.3.1. Estrategia de crecimiento

Comenzando por la evaluación de escenarios combinados, una de las preguntas que puede hacer una organización es cuál es el impacto de los escenarios de crecimiento en la viabilidad de la inversión SPI. Por ejemplo, qué magnitud de crecimiento puede contribuir a hacerla más probable o incluso viable.

Se ha visto que las organizaciones pequeñas muestran, en general, un pronóstico desfavorable para las inversiones en SPI. Esto ocurre porque no tienen masa crítica para que las ganancias de productividad provean un beneficio suficiente para compensar los gastos necesarios. Sin embargo, se identificó también la oportunidad de trabajar sobre decisiones organizacionales e hipótesis de variaciones de parámetros externos que influyan en el resultado de forma de hacer viable la inversión en SPI. Esto indica que las organizaciones pequeñas se ven, estructuralmente, empujadas a considerar fuentes de retornos para la inversión además de su eficiencia operativa.

Las organizaciones medianas y grandes, por su parte, tienden a tener casos viables para inversiones SPI, tomando mayormente los beneficios operativos resultantes. Su fuente de retorno es, entonces, esencialmente interna.

Uno de los factores que puede impulsar la viabilidad de la inversión SPI en las empresas pequeñas puede residir en los ingresos adicionales que la organización espera como resultado

de su mayor madurez. Esto, como vimos, puede ser tanto por nuevos negocios con los clientes existentes o por la posibilidad de acceder a nuevos clientes o aún a nuevos mercados. Una ejecución para estudiar este escenario puede verse en la Figura 8-15. La pregunta que se plantea en este caso es ¿cuánto valor adicional tiene que obtener la organización desde una estrategia de crecimiento asociada a su inversión SPI para hacer que su VPN sea positivo con una probabilidad del 75%?

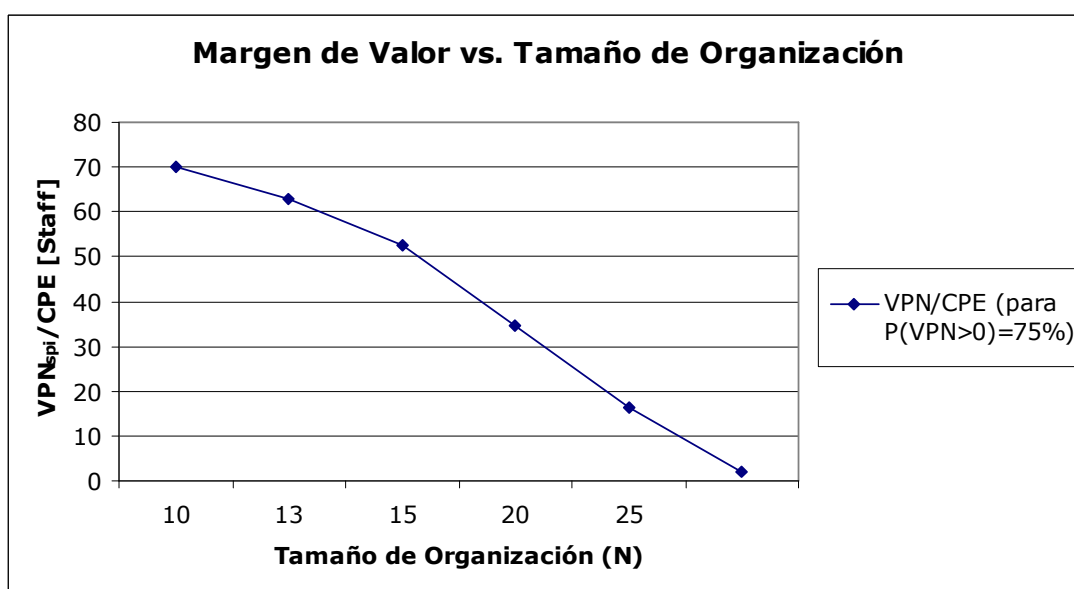


Figura 8-15 Estrategias de crecimiento para distintos tamaños organizacionales

La elección de este valor de probabilidad de éxito es en principio arbitraria, y constituye un compromiso entre considerar a la organización apta o con aversión al riesgo. Se asumirá en éste análisis que representará una probabilidad de razonable certeza para una organización promedio. Este cálculo puede verse como explorar cuál es la brecha que le falta al VPN del caso de inversión para ser positivo con una probabilidad del 75%.

El valor presente neto adicional necesario se normaliza mediante el costo por ingeniero CPE, de forma que el resultado de la inversión pueda leerse en términos de a cuántos ingenieros adicionales equivale el ingreso que debe obtener la organización para justificar la inversión en SPI.

Para organizaciones de 10 personas, es necesario aumentar los ingresos en el equivalente a casi 70 personas. Es importante destacar que estos beneficios son netos. Cada organización podrá calcular en qué magnitud debe crecer para que el beneficio bruto sea equivalente a este valor pero equivale a un número muy significativo de profesionales. El uso del número de profesionales como factor de normalización tiene la doble ventaja de poder asignar una dimensión monetaria al impacto estudiado y, al mismo tiempo, expresarlo en unidades que son usualmente familiares a quienes realizan la decisión.

A medida que el tamaño de la organización se incrementa, la brecha en el resultado de la inversión para que ésta sea viable disminuye. El punto de corte estará en el entorno a organizaciones mayores a 30 personas, aproximadamente, donde el caso de inversión puede ser viable incluso sin hipótesis de crecimiento.

Este análisis puede ser crucial para organizaciones pequeñas, analizando una inversión en SPI más desde la perspectiva de su estrategia de ingresos que desde la del aumento de su eficiencia operativa.

8.3.2. Decisión entre SEI-CMMI™ Nivel 2 o Nivel 3

Otro escenario consiste en estudiar si una organización debería considerar hacer su tránsito a una madurez inicial alcanzando primero un nivel 2 según SEI-CMMI™, para luego progresar a nivel 3 en un segundo esfuerzo, o aplicar la inversión a realizar el tránsito a nivel 3 directamente.

El relevamiento, tanto de la base de datos del SEI como los datos empíricos relevados en Argentina, permite obtener ejemplos de organizaciones que han tomado ambas estrategias. El resultado de la ejecución de este escenario puede verse en la Figura 8-16.

Para distintos tamaños de organización se muestra el tránsito de nivel 1 a 2, nivel 2 a 3 ó nivel 1 a 3 directamente. Puede verse que, para diferentes tamaños organizacionales, el tránsito directo a SEI-CMMI™ nivel 3 tiene un perfil de mayor probabilidad de éxito de inversión que dos tránsitos sucesivos con equivalente nivel final, pero pasando primero por nivel 2. Este resultado del modelo es, hasta cierto punto, intuitivo y esperable.

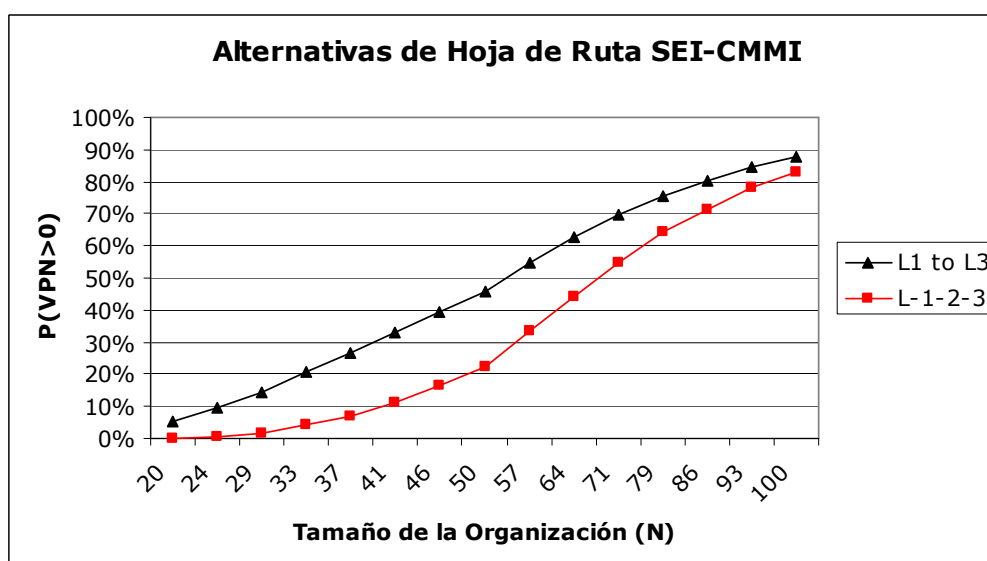


Figura 8-16 Decisión de hoja de ruta para acceder a SEI-CMMI™ nivel 3.

Es necesario desplegar menos áreas de proceso para nivel 2 (7 áreas de proceso) que para nivel 3 (21 áreas de proceso). Por su parte, el nivel 3 requerirá mayor tiempo y esfuerzo de

despliegue pero, al mismo tiempo, la mejora de productividad tiene expectativas de ser mayor.

Finalmente, debido a que la evaluación de SEI-CMMI™ en Nivel 3 incluye también la de Nivel 2, los costos fijos del proceso, fundamentalmente los costos de evaluación, son similares en el caso que la organización aborde un proceso SCAMPI-A de Nivel 2 que para Nivel 3.

Si los mayores costos de implementación son compensados con mayores beneficios y, asumiendo costos de evaluación similares, el resultado será un punto de equilibrio mejor para el caso de progreso a nivel 3, que es justamente lo que refleja el modelo.

8.3.3. Estrategias de implementación

¿Cuales son las estrategias que deberían considerarse para mejorar la probabilidad de éxito en una inversión en SPI? Observando los factores que determinan el costo de despliegue, se observan dos posibilidades de mejora. Estas son iniciativas que:

1. Reduzcan el esfuerzo de implementación (E_{sepg}).
2. Mejoren simultáneamente el esfuerzo y tiempo de implementación (E_{sepg}/t_{spi}).

En el caso de reducir el esfuerzo de implementación, denominado en el modelo programado como K_{spi} , esto llevará a la organización a mantener aproximadamente los ciclos de despliegue, pero a un menor costo. Esto se puede lograr mediante la menor asignación de recursos a partir de ser más eficiente en el despliegue. Otra alternativa es aplicar algún mecanismo de reducción del costo de ese esfuerzo, es decir que el esfuerzo se aplica pero la organización realiza un sacrificio menor por esa asignación. Tal sería el caso de una subvención, por ejemplo. Finalmente, otra alternativa podría ser abordar la inversión en SPI entre varias organizaciones de forma de compartir ciertos gastos fijos.

El escenario es probado en el modelo para reducciones del esfuerzo de hasta un 20%, y sus resultados pueden observarse en la Figura 8-17.

Para organizaciones grandes la reducción de este esfuerzo y, por lo tanto, del costo de implementación, tiene una influencia muy pequeña en la viabilidad del caso, seguramente el VPN de la inversión mejorará pero no su probabilidad. La mejora para organizaciones pequeñas es poco relevante.

En cambio, para organizaciones medianas se detecta una mejora significativa en la probabilidad de éxito. Esto puede ser interpretado como que la reducción de costo contribuye a compensar los costos fijos del proceso de despliegue de la inversión, haciendo necesarios menores ingresos por productividad futura para compensarlos.

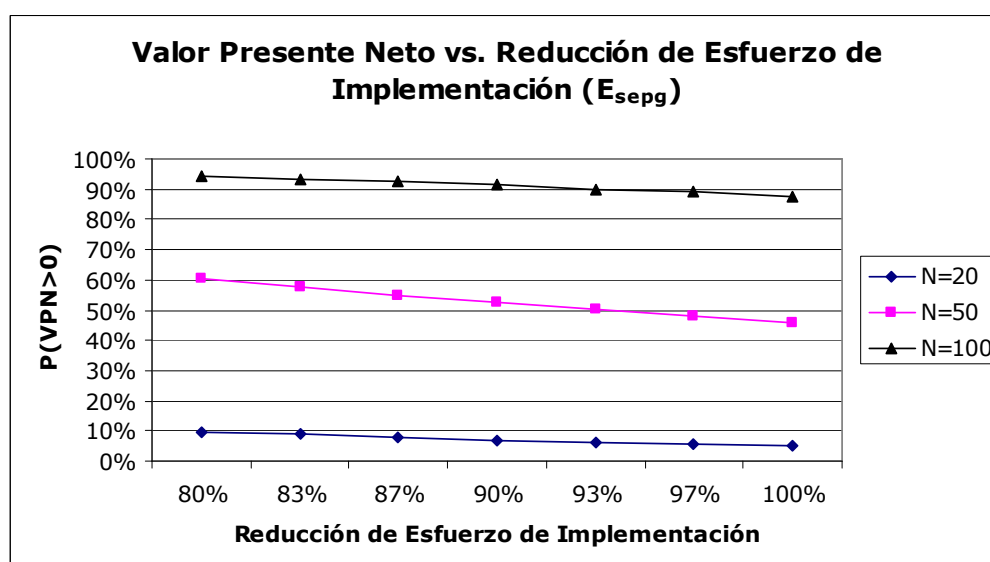


Figura 8-17 Variación del VPN con la reducción del esfuerzo de implementación.

El otro escenario de interés consiste en mejorar la eficiencia del despliegue, esto es, reducir simultáneamente el esfuerzo y el ciclo de implementación. De esta manera se incorporan cambios en las metodologías de despliegue que permitan a la organización realizar la iniciativa SPI más rápidamente y con menor esfuerzo. Esto se produce por condiciones donde se incrementa la productividad de la implementación a partir de mejoras en el marco utilizado para realizarla, disponibilidad de herramientas o mejoras en los métodos de entrenamiento y adquisición de las disciplinas.

Al reducir el esfuerzo y el tiempo simultáneamente, se mejoran distintos aspectos del costo económico-financiero de despliegue. A los efectos del modelo es conveniente expresarlo como mejoras en la relación entre esfuerzo y tiempo de implementación. La ejecución analiza cómo mejora el perfil de la inversión SPI en la medida que se mejoran esfuerzo y tiempo de implementación en hasta un 40%. El resultado puede verse en la Figura 8-18.

Las mejoras en el perfil de inversión son suficientemente significativas como para ser comparables a cambios significativos en el tamaño de la organización, el horizonte de inversión o el crecimiento esperado en la organización. El caso más notorio es el de las organizaciones medianas, donde la probabilidad de inversión viable prácticamente se duplica.

Esta mejora es de índole tecnológica y puede ser operada en forma externa a la organización misma. Bastará con enfocar los esfuerzos en mejorar los mecanismos, procedimientos y herramientas involucrados en el despliegue de mejoras de madurez.

Se percibe, además, que cualquier inversión en esa dirección puede ser mucho más eficiente que cualquier acción que beneficie a las organizaciones a nivel individual, porque un marco de

trabajo (mecanismos, procedimientos y herramientas) será seguramente reusable por múltiples organizaciones.

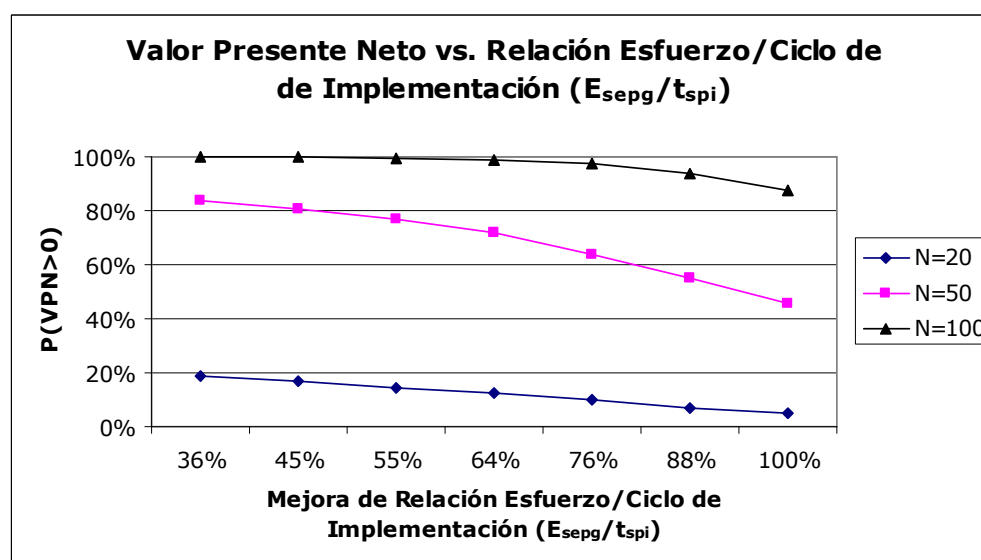


Figura 8-18 Evolución del VPN por mejoras en la relación esfuerzo/tiempo de implementación

En realidad, el resultado corresponde a una interacción compleja de factores, pero no es difícil de interpretar. Las organizaciones pequeñas y medianas tienen retornos absolutos pequeños para afrontar esfuerzos y erogaciones mayormente fijas de implementación, que no necesariamente guardan escala con su tamaño. Al operar en condiciones de mayor incertidumbre, deben además descontar los flujos futuros esperados como beneficio, de tal manera que su impacto financiero al presente también se reduce. Una mejora en la relación esfuerzo/ciclo de implementación, al mismo tiempo, reduce los costos de implementación y traslada hacia el presente flujos futuros de ingresos, por lo que su valor financiero es mayor. Ambos mecanismos actúan sinérgicamente mejorando el VP de la propuesta y, por lo tanto, incrementando la probabilidad de éxito en la inversión.

8.3.4. Requerimientos de recursos en inversiones exitosas

La evidencia empírica deja claro que la magnitud del esfuerzo involucrado en el despliegue de las iniciativas SPI es independiente del tamaño de la organización. Esta característica impulsa un contexto de inversión donde las pequeñas organizaciones tienen más dificultades para establecer casos exitosos. Esto explica, por su parte, la frecuencia relativamente baja de adopción de iniciativas SPI basadas en SEI-CMMI™ entre las empresas más pequeñas.

Para caracterizar mejor esta situación, se estudia qué proporción de sus recursos deben asignar a las iniciativas SPI las organizaciones de diferentes tamaños.

Para evaluar este escenario, se ejecuta el modelo para organizaciones pequeñas, medianas y

grandes, de forma de calcular cuál es la relación entre el esfuerzo de implementación mensual y el tamaño de la organización. Se toman solamente los casos donde la inversión es exitosa. El resultado de la ejecución puede verse en la Figura 8-19.

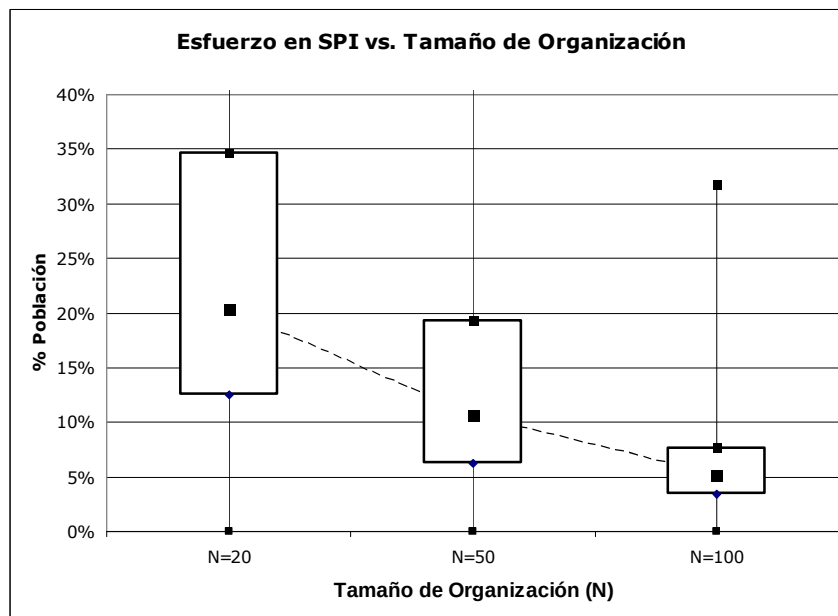


Figura 8-19 Esfuerzo de implementación de inversión SPI vs. Tamaño de la organización

El gráfico boxplot utilizado muestra que la asignación mensual media de recursos durante la inversión en SPI que es requerida para organizaciones pequeñas supera el 15% de los recursos totales. Esta proporción es mucho menor en las organizaciones medianas y grandes, estando para ellas entre el 10% y el 5% de los recursos totales respectivamente.

La experiencia permite considerar la asignación para empresas medianas y grandes como razonable, mientras que para empresas pequeñas resulta ciertamente excesiva. Este resultado sugiere que la debilidad estructural de las empresas pequeñas frente a las inversiones en SPI desaparecería si fuera posible subvencionar el esfuerzo de implementación bajo hipótesis de crecimiento futuro

8.4. Resumen

La evaluación de escenarios provee a las organizaciones enfrentando decisiones de inversión en SPI la posibilidad de emplear este modelo como herramienta durante el proceso de decisión. Es significativa la consistencia entre las predicciones del modelo y lo capturado en fuentes de la industria y el trabajo de campo.

El resumen de los hallazgos explorados en este capítulo es:

- **Relación con el tamaño de la organización.** Los escenarios estudian como las organizaciones pequeñas tendrán menores probabilidades de realizar inversiones en SPI exitosas. El punto de equilibrio para alcanzar SEI CMMI™ Nivel 3 parece estar en el entorno de 50 a 70 personas. Este patrón de comportamiento de las organizaciones es confirmado en la práctica mediante el relevamiento de perfiles en Argentina y, de hecho, utilizado como mecanismo de validación en el Capítulo 7. Las organizaciones más pequeñas tienen que invertir proporciones muy altas de sus recursos, en el orden del 15% a 20%, para albergar la esperanza de inversiones exitosas. Las organizaciones medianas y grandes, en cambio, pueden tener la expectativa de alcanzar el éxito con inversiones proporcionalmente mucho más modestas, en el orden del 5% al 10% de su personal total.
- **Relación con el horizonte de inversión.** El escenario explorado ayuda a comprender que las organizaciones grandes necesitan considerar al menos 36 meses como horizonte de inversión, mientras que las medianas al menos 48 meses. Estos plazos no son compatibles con los tiempos necesarios de implementación y se contradicen con lo que las organizaciones dicen estar dispuestas a esperar para completar casos exitosos de inversión. La conclusión es que para mejorar las posibilidades de adopción de SEI-CMMI™ es imperativo trabajar en mecanismos que permitan a las organizaciones ampliar sus horizontes de inversión, por ejemplo mediante políticas crediticias. Otra alternativa es desarrollar tecnologías y marcos que reduzcan drásticamente el tiempo de implementación t_{spi} . Por cierto que ambas estrategias pueden ser concurrentes.
- **Relación con el Costo por Ingeniero.** La combinación de escenarios no sugiere una relación significativa entre el costo por ingeniero y la probabilidad de éxito al abordar iniciativas de SPI.
- **Relación con el costo de evaluación.** Las organizaciones pequeñas serán fundamentalmente las más sensibles a este costo, pero aún así no se identifica como una barrera significativa para la realización de iniciativas SPI, a pesar que la experiencia muestra que se percibe como tal. El esfuerzo organizacional necesario para realizar la inversión en SPI se muestra como el factor dominante de su éxito.
- **Relación con el crecimiento e ingresos futuros.** Al considerar el crecimiento como consecuencia de la inversión en SPI, se produce un impacto significativo en la probabilidad de éxito de la misma, especialmente para organizaciones pequeñas y medianas. Este efecto puede incluso utilizarse como soporte a la decisión de invertir, al ayudar a contrapesar restricciones de horizonte de inversión.
- **Relación con Hoja de Ruta.** Como soporte al planteo conceptual discutido en la Sección

2.6. se concluye que el pasaje directo de Nivel 1 a Nivel 3 tiene mejor perfil de probabilidades para la inversión. A pesar que en términos de resultado de la inversión pueda ser más cierta, es claro que el tránsito directo a Nivel 3 requiere inversiones más importantes en términos absolutos. Las organizaciones que eligen una hoja de ruta más pausada, es decir Nivel 1 a Nivel 2 para luego ir de Nivel 2 a Nivel 3, es probable que lo encuentren atractivo sólo si tienen limitaciones sobre el monto de la inversión absoluta que pueden incurrir o para satisfacer presiones de tiempo de implementación.

- **Mecanismos de Mejora de Esfuerzo y Mejora de Esfuerzo/Ciclo de Implementación.**

Resulta claro que las mejoras del esfuerzo de implementación y la relación entre esfuerzo y tiempo de implementación hacen el caso de inversión más favorable para todas las organizaciones. En particular, resultan concluyentes en mejorar la probabilidad de éxito de la inversión en organizaciones pequeñas. Los mecanismos de mejora en la magnitud del esfuerzo de implementación (Ej. subvención) producen impactos moderados en asegurar la inversión en SPI, mientras que las acciones de mejoras de la relaciones entre esfuerzo y ciclo de implementación pueden producir mejoras significativas en la probabilidad de éxito de la inversión.

A partir de los resultados revisados las organizaciones pueden evaluar los equilibrios y compromisos entre los distintos escenarios de inversión, lo que constituye uno de los beneficios de este enfoque, incluso cuando algunos parámetros y comportamientos sean modelados en forma muy preliminar y con oportunidades para ser mejorados por trabajos futuros.

El uso del VPN como evaluador de la inversión agrega flexibilidad y captura en mejor medida las realidades de las presiones sobre sus recursos que enfrentan las organizaciones, en particular las de menor tamaño, y el riesgo que implican este tipo de inversiones.

La ejecución del modelo sugiere que las mejoras de proceso hasta nivel 3 de SEI-CMMI™ que es típicamente considerado el facilitador para participar en proyectos de escala a nivel internacional, puede ser alcanzado por organizaciones pequeñas con riesgos y sacrificios razonables. Esto es un resultado alentador respecto a la percepción más bien pesimista que tienen sobre sus posibilidades de éxito en inversiones SPI las organizaciones de este segmento.

"Las señales, a veces imperceptibles y a veces muy claras, están alrededor nuestro. Pero requieren una interpretación cuidadosa si han de ser nuestra hoja de ruta."

Manual del Guerrero de la Luz, Paulo Coehlo

Capítulo 9 Conclusiones

Este capítulo resume las conclusiones que se obtienen de este trabajo de investigación. En el Capítulo 1 se describió el problema y los objetivos. En los Capítulo 2 y Capítulo 3 se discutieron las bases teóricas relacionadas con las iniciativas SPI y la formulación de modelos dinámicos, ambos necesarios como base para la elaboración de los capítulos siguientes. En el Capítulo 4 se elaboró un modelo conceptual que sirve como base teórica para la construcción posterior de un modelo dinámico que refleje la inversión en SPI. En el Capítulo 5 y en el Capítulo 6 se describieron los instrumentos para recolectar la base empírica sobre la cual formular el modelo de inversión. En el Capítulo 7 se implementó el modelo dinámico y, utilizando el marco teórico, se realizó su verificación y validación. Con el modelo ya construido y validado, en el Capítulo 8 se estudiaron distintos escenarios relevantes a los problemas bajo estudio.

Para desarrollar este capítulo de conclusiones se comienza por resumir, a modo retrospectivo, el contexto de la industria que sirve de contexto a este trabajo de investigación, sus fundamentos conceptuales y cuáles fueron los principales pasos realizados en la investigación. Esto sirve, por su parte, como fundamento para la discusión de las respuestas a las preguntas de investigación establecidas en el Capítulo 1.

A continuación, se resumen las principales contribuciones realizadas por esta tesis, y se discuten aspectos sobre la validación de las conclusiones obtenidas y algunas ideas para trabajos futuros.

Finalmente, se cierra el trabajo con reflexiones finales sobre los principales aprendizajes que resultan del mismo y cómo éstos pueden ser utilizados para alentar futuras inversiones en SPI.

9.1. Introducción

Las empresas de tecnología, y en particular las que se dedican a desarrollo de software, observan un mercado global altamente competitivo. Las organizaciones en los mercados centrales recurren a estrategias de tercerización de servicios, aprovechando la mayor productividad en costo ofrecida por organizaciones offshore, lo que representa para éstas una enorme oportunidad de crecimiento y beneficios.

Al mismo tiempo, y como parte de la metodología de tercerización, protegen sus negocios y

activos tratando de disminuir el riesgo de comprador requiriendo que las compañías offshore acrediten sus capacidades técnicas para entregar los desarrollos comprometidos en plazo, con calidad y dentro de presupuesto.

El desarrollo de marcos formales para evaluar en forma objetiva estas capacidades, siendo el SEI-CMMI™ el más adoptado para ello, condujo a la situación donde los mismos no son solamente utilizados para que la organización que los adopte mejore en forma significativa su performance, sino también como evidencia ante terceros sobre la adquisición de estas capacidades.

La mejora en las capacidades que obtienen las empresas al realizar inversiones en SPI se transforma en un diferenciador competitivo que les permite, al mismo tiempo, consolidar su participación en el mercado interno.

Este contexto lleva a que todas las organizaciones de desarrollo de software tengan muchos incentivos, pero al mismo tiempo también muchas presiones, para embarcarse en esfuerzos para desplegar iniciativas en SPI. Esta situación coloca a las organizaciones, en particular a las más pequeñas, en el dilema de sentirse amenazadas tanto por organizaciones más grandes que han avanzado en realizar inversiones en SPI y pueden diferenciarse competitivamente como por organizaciones que no lo han hecho, y disfrutan de la mayor, aunque momentánea, competitividad que les otorga no hacer sacrificios significativos para desplegar estas iniciativas.

Estas inversiones son relativamente novedosas, existen gastos importantes para llevarlas a cabo y se perciben como viables para empresas de gran tamaño. En realidad, no existen mecanismos claros para determinar cuáles son las fronteras de viabilidad de la iniciativa, qué prioridad debe asignársele frente a otras iniciativas que pugnan por los mismos recursos, qué estrategias de implementación es conveniente seguir y, en definitiva, si se trata de una proposición de inversión deseable. Este contexto es general y aplicable a prácticamente cualquier geografía donde existan mercados tecnológicos emergentes, pero en este trabajo de investigación interesa analizar la situación en Argentina.

La situación macroeconómica, la disponibilidad de talento, la existencia de una infraestructura tecnológica adecuada, así como factores geográficos y culturales hacen que Argentina tenga mucho potencial para tener un rol importante en el mercado global de servicios de desarrollo de software.

Partiendo de este contexto, y luego de una búsqueda detallada de la bibliografía, no se encuentra ninguna herramienta que permita a una organización abordar el análisis de la inversión en SPI desde una perspectiva sistémica, estudiar las mejores estrategias y definir su viabilidad. Para subsanar este faltante, se propone desarrollar un modelo de la inversión que permita estudiar cómo las distintas características de la organización, tales como tamaño, comportamiento frente al riesgo

y potencial de crecimiento, pueden influir en sus perspectivas para obtener un caso viable de inversión.

El desarrollo de un modelo de estas características enfrenta algunas dificultades. Probablemente, la principal es determinar cuál es el resultado que captura en mejor forma la viabilidad de la inversión en SPI. La bibliografía proporciona ejemplos abundantes sobre los resultados que obtienen las organizaciones al realizar inversiones en SPI, pero se trata de descripciones mayormente inorgánicas, planteadas con un criterio económico y sin definir claramente todos los parámetros necesarios para evaluar la inversión, y mucho menos cómo esos criterios pueden aplicarse en otros contextos.

Al plantear el modelo, se propone superar estas limitaciones utilizando el Valor Presente Neto de la inversión como el método adecuado para considerar todos los factores intervinientes normalizados por tiempo y riesgo. Se asume que la condición de viabilidad de la inversión estará dada porque el VPN sea mayor a cero. Dado que el uso del VPN no está muy difundido en la literatura relacionada con SPI, y menos aún con la referente a su aplicación en empresas PyMEs, se propone un método para validar su aplicación en contextos de restricción de recursos.

En realidad, en una organización real existen múltiples demandas para los siempre escasos recursos, y es probable que muchas de ellas sean inversiones viables por derecho propio. Por ello, el modelo permite también hacer un análisis sobre cuál es la probabilidad que el VPN sea, no sólo superior a cero, sino también superior a cualquier valor arbitrario que la organización fije. En este trabajo de investigación se ha utilizado, sin embargo, solamente el VPN mayor a cero como condición de la viabilidad de la inversión.

Los factores dominantes en definir el resultado que propone la bibliografía están en general relacionados con el costo de implementación y evaluación; como contrapartida de ingresos, en estas fuentes se apela mayoritariamente a los ahorros que la organización obtiene por mejor performance. Además de considerar estos factores, también se incluyen otros, tales como crecimiento, influencia del riesgo incurrido, implicancias futuras, apalancamiento financiero en otros activos, riesgos en la evaluación e incluso beneficios intangibles. Estos factores, observables en la literatura y en la experiencia, pueden ser considerados debido a la naturaleza económica-financiera del modelo propuesto.

Las ecuaciones que expresan las relaciones entre factores se proponen como relaciones simples derivadas de la búsqueda bibliográfica o de la experiencia y se agregan a éstas los factores de descuento financiero de los flujos de fondos resultantes. En ocasiones, se apela a planteos generales de una relación dada, la que luego resulta simplificada por la evidencia derivada de evaluaciones estadísticas.

Al plantear las relaciones matemáticas entre los distintos factores que intervienen en el modelo, se tiene en cuenta que las magnitudes utilizadas son en realidad distribuciones de probabilidad de posibles valores, por lo que requieren formular el problema en términos de un modelo estocástico. En consecuencia, deberá modificarse la condición de inversión viable, la cual estará dada ahora por la condición que la probabilidad que el Valor Presente Neto sea superior a cero. La organización pondrá en juego sus propios criterios para definir cuál es el nivel de riesgo con el que desea plantear las inversiones que aborda.

Las inversiones en SPI no son igualmente viables en todos los casos. Al modelarlas, es posible estudiar cuáles son los factores internos de la organización o las características del ambiente que delimitan su factibilidad. Para capturar los factores intervinientes, calibrar su importancia y validar su aplicabilidad se realizó un importante relevamiento de la bibliografía disponible, se participó directamente en distintas iniciativas de inversión en SPI y se realizaron trabajos de campo a escala nacional.

De acuerdo al relevamiento realizado de antecedentes, éste se trata del primer esfuerzo significativo para estudiar estos problemas en nuestro país. En lo que respecta al modelo, no se encuentran antecedentes similares en la bibliografía relevada. Enfatizando en el contexto argentino, interesa comprender cómo es la realidad de las inversiones en SPI.

Este trabajo tiene por primer objetivo conocer esta realidad, de forma de utilizarla para validar el modelo. Con este propósito se realizaron dos estudios. En el primero, se utiliza una encuesta existente (CESSI 2007) para comprender el comportamiento de las organizaciones de desarrollo de software en Argentina respecto a las iniciativas SPI en general. En el segundo, se formula y realiza una encuesta, con la colaboración de la CESSI, entre organizaciones que han abordado inversiones en SPI basadas en el modelo de referencia SEI-CMMI™, para relevar elementos que caractericen a las mismas.

Utilizando la base teórica, el relevamiento de la bibliografía, los hallazgos en los estudios de campo y la evidencia empírica recolectada durante diferentes esfuerzos organizacionales para implementar SPI, se pudo construir un modelo ejecutable.

Como en todo trabajo original, se encuentran factores donde ni la bibliografía ni los trabajos de campo permiten obtener valores, por ejemplo el factor de disminución del riesgo λ o la probabilidad de éxito en evaluación ξ . En estos casos, se realizan aportes metodológicos al proponer mecanismos que permitan, preliminarmente, estimar sus valores posibles.

Al ejecutar el modelo se tuvo presente en todo momento que se trata del primer esfuerzo de este tipo, ya que si bien hay otros modelos en la bibliografía relacionados con aspectos de las iniciativas en SPI, ninguno aborda las mismas como una inversión. Debido a ello, es importante

poder evaluar si los resultados son apropiados o tienen la exactitud adecuada. Ha sido una preocupación significativa en esta tesis desarrollar distintos mecanismos para asegurar la confiabilidad de los resultados antes de su aplicación. Empezando por relevar y seguir los pasos metodológicos necesarios para construir un modelo robusto y sometiendo la evidencia empírica obtenida a evaluaciones estadísticas. Dado que no existen antecedentes relevados, y menos de tipo local, se procedió finalmente a verificar y validar el modelo utilizando sus resultados en comparación con los dos trabajos de campo realizados. En los distintos capítulos, se detallan las pruebas realizadas que permiten asegurar la validez de los resultados alcanzados y cuáles son los factores a los que se debe prestar atención, pues constituyen amenazas a esta validez.

Si bien no se trata de un método sistemático, se le asigna mucha significación en el marco de esta tesis a la presentación y discusión de los resultados alcanzados en el marco de dos workshops de SEI en EEUU, por considerar que corresponden a las máximas autoridades en este campo. De algún modo esta actividad permitió analizar la validez del enfoque adoptado, lo cual es importante por la ya señalada falta de antecedentes en este campo. Por otro lado posibilitó estudiar y discutir los resultados con expertos de la industria y la academia que proporcionaron comentarios muy valiosos.

Habiendo completado la verificación y validación del modelo, se procedió a analizar diversos escenarios. Este análisis dista de ser exhaustivo, pues la cantidad de situaciones posibles a considerar es muy grande, pero se trabajó sobre las que se consideraron más significativas. De la aplicación del modelo, se identifican los principales comportamientos de la inversión SPI a partir de la dependencia (sensibilidad) a factores claves, tales como el tamaño de la organización, el horizonte admitido para la inversión y el crecimiento que la organización puede experimentar como resultado de la inversión SPI. Al mismo tiempo, se detectan qué factores percibidos como significativos, como lo es el costo de evaluación, en realidad tienen una influencia relativamente menor en la viabilidad de la inversión. Se analizan, además, estrategias para la implementación basadas en el estudio de escenarios sobre variables clave que la organización debe definir, tales como la hoja de ruta de niveles a ser adquiridos, proporciones de la organización a ser asignadas al esfuerzo, la influencia de hipótesis de crecimiento y la importancia de disponer de métodos para acelerar la implementación. Las conclusiones extraídas permiten justificar, o no, la aplicación de esfuerzos en inversiones en SPI.

En síntesis, se dispone de una herramienta muy potente que permite evaluar la viabilidad de las inversiones en SPI, considerando las características y perfiles de las empresas de la industria de software.

Este trabajo de investigación sienta una base, al permitir cuantificar y evaluar

sistemáticamente este tipo de esfuerzos. Sobre la misma es posible en el futuro pensar en pulir esta herramienta para mejorar su calibración, además de aplicarla en otros contextos no contemplados en esta tesis.

9.2. Preguntas de investigación

Es necesario recuperar las preguntas de investigación formuladas en el Capítulo 1, Sección 1.4 para elaborar, en base a la investigación realizada, cuáles son las respuestas que se proponen. El análisis se centrará en organizaciones alcanzando el Nivel 3 bajo el modelo SEI-CMMI™, que como se ha visto, constituyen la mayoría de los casos. En casos especiales, se hará referencia también a inversiones tendientes a alcanzar los niveles de alta madurez.

¿Qué factores clave gobiernan las iniciativas SPI basadas en SEI-CMMI™?

Los factores claves que gobiernan las iniciativas SPI son aquellos identificados como variables independientes y parámetros externos del modelo de inversión SPI. Entre los primeros, y en orden de importancia, se encuentran el horizonte de inversión t_p , el tamaño de la organización N , el nivel SEI-CMMI™ objetivo, el costo por ingeniero CPE , el costo de oportunidad r , el crecimiento previsto para la organización como resultado de la inversión en SPI g y los ingresos extraordinarios que la organización planea obtener como consecuencia de la misma. Entre los segundos, se encuentran la tasa libre de riesgo r_f y la magnitud de los activos subyacentes dependientes de los desarrollos de software que la organización vaya a realizar I_{FV} .

El horizonte de inversión t_p es relevante en cuanto a definir la viabilidad de la inversión en SPI. La combinación de tiempos de despliegue, institucionalización y operación para recuperar la inversión va en sentido contrario de los límites al horizonte de inversión que las organizaciones imponen, en respuesta a una percepción de riesgo, para que la inversión en SPI se complete.

El tamaño de la organización N es también muy relevante en cuanto a la viabilidad de la inversión. El análisis de escenarios ha sugerido estrategias para incrementar esta probabilidad para las organizaciones pequeñas y medianas. De todas maneras, el modelo pronostica que los umbrales de viabilidad son más accesibles que lo que la literatura y experiencia indican que es percibido por la industria y las organizaciones.

El costo por ingeniero CPE determina, en términos absolutos, los flujos de fondos y, por consiguiente, el caso de inversión. Esto es hasta cierto punto contradictorio con la evidencia empírica, que muestra que es en organizaciones con costo más reducido, por ejemplo proveedores

offshore, es donde se observa mayor grado de adopción del modelo SEI-CMMITM como estrategia de inversión en SPI. Este comportamiento puede explicarse de varias formas. En primer lugar, la necesidad de estas organizaciones de diferenciarse competitivamente, proveyendo una reducción del riesgo de comprador, que es expresado en el modelo mediante las variaciones del costo de oportunidad por la reducción del riesgo y el consiguiente apalancamiento financiero resultante. En segundo lugar, se ha visto que las perspectivas de crecimiento que la organización pueda tener como resultado de su inversión en SPI pueden mejorar sustancialmente el caso de inversión. Es probable que las organizaciones localizadas en mercados centrales no aspiren a patrones de crecimiento significativos como consecuencia de su menor competitividad de costos en comparación a las organizaciones offshore.

Finalmente, el costo de oportunidad r es una variable significativa en el proceso de decisión; puesto que en la medida que se incrementa desalienta la inversión en SPI. Esto ocurre porque al crecer impulsa la necesidad de tener flujos de ingresos muy tempranos o de mucha magnitud, o ambos a la vez. Al mismo tiempo, no debería sorprender que una organización con alto costo de oportunidad r esté ansiosa de realizar una iniciativa SPI para reducir los riesgos que su operación implica en los activos que dependen de sus desarrollos de software, sean estos propios o de clientes.

En el modelado, se ha tomado el costo de evaluación C_a como una variable dependiente del nivel SEI-CMMITM objetivo. Esta forma de construcción obedece mayormente a una razón de conveniencia del desarrollo. Esto ocurre puesto que es necesario operar esta variable estocásticamente para comprender la incidencia en la inversión SPI de los posibles rangos que ésta adopta. También podría ser interpretada como un parámetro externo ya que, después de todo, la organización sólo puede influenciar en forma muy limitada su magnitud, mayormente por selección de proveedores entre aquellos que puedan proporcionar los servicios consultivos asociados a una evaluación informal o formal. Aún así, se ha observado que el impacto de sus valores en la viabilidad de la inversión SPI es relativamente menor, aún en organizaciones pequeñas y aún considerando el efecto de evaluaciones múltiples en el futuro previsible. Este hallazgo es significativo, puesto que la experiencia muestra que las organizaciones PyMEs expresan reservas sobre los procesos de inversiones en SPI a partir, mayormente, de sus costos de evaluación. En realidad, el modelado muestra que su incidencia es relativamente menor comparada con otras magnitudes en juego.

El nivel de madurez SEI-CMMITM seleccionado por la organización es ciertamente un factor clave, puesto que define los esfuerzos y tiempos totales que requerirá la inversión en SPI, los riesgos que ésta tendrá, los tamaños organizacionales y horizontes de inversión mínimos que serán necesarios y la magnitud de los retornos a los que la organización podrá aspirar. La ejecución de

escenarios muestra que será conveniente para una organización, en general, avanzar a nivel 3 como paso inicial y a nivel 5 como segundo estado de progreso. La evidencia empírica muestra que los niveles 2 y 4 probablemente sean sólo buenas opciones en caso de limitaciones fundamentales de capacidad de inversión o restricciones de tiempo. En la construcción realizada, el nivel de madurez también define la probabilidad de éxito en la evaluación y la reducción del riesgo de operación, ambos crecientes con el nivel.

Las interacciones entre los activos que la organización gestiona o contribuye mediante su proceso de software, llamados activos subyacentes, y las influencias que en ellos tienen las inversiones de SPI, muestran el efecto del apalancamiento de la inversión. A partir del mecanismo de reducción de riesgo con nivel de madurez creciente y, por lo tanto, un descuento menos agresivo de los flujos, este componente aporta contribuciones al valor del proyecto al mejorar sustancialmente el perfil de inversión. Como resultado, permitirá horizontes de inversión y tamaños de organización remarcablemente menores a los pronosticados como umbral que de no considerarse esta influencia.

¿Qué rangos de valores en estos factores impulsan el éxito del esfuerzo SPI.?

El horizonte de inversión no puede ser, según lo discutido en la Sección 4.7, mucho menor que 24 meses para una inversión viable en niveles iniciales de madurez (Nivel 2 ó 3). La evaluación de escenarios muestra que sólo las organizaciones grandes, de 100 personas o más, pueden aspirar a tener casos viables de inversión en estos tiempos. Una organización mediana, de 50 personas, podrá tener inversiones con pronóstico mejor al 50% de chances de éxito con horizontes por encima de los 48 meses. Las organizaciones pequeñas, de 20 personas, no parecen tener en condiciones normales un buen pronóstico de inversión en ningún horizonte razonable de tiempo.

El tamaño de la organización mínimo requerido, según se identifica en la ejecución de escenarios, es algo más de 50 personas para tener probabilidades de éxito significativas en horizontes de 48 meses o más.

Para niveles de madurez altos (Nivel 4 ó 5), el resultado del escenario se repite con ligeras modificaciones para las organizaciones pequeñas y medianas, pero incluso las firmas grandes tienen pobres perspectivas de tener un caso de negocios atractivo con menos de 36 meses de horizonte de inversión.

Todo parece indicar que el balance entre tamaño y horizonte de inversión admisible define, en gran medida, las posibilidades de las iniciativas en SPI. No sorprende entonces, que las estrategias exploradas muestren justamente que la forma de mejorar esta chance es poder asociar

crecimiento de la organización como resultado de los esfuerzos en SPI. También se puede trabajar sobre acciones de contexto y/o tecnológicas tendientes a reducir el tiempo de implementación y permitiendo, por lo tanto, un horizonte de inversión más restringido.

Fuera de este balance, el otro mecanismo disponible para hacer más atractivas las iniciativas en SPI es aumentar significativamente los ingresos mediante considerar el valor creado por reducción de incertidumbre. Cuando el valor presente del activo subyacente excede al ingreso equivalente a 7 ingenieros, comienza a hacerse viable en horizontes tan cortos como 24 meses. Aunque no existan activos subyacentes para protegerse, el mecanismo de apalancamiento tiene un efecto limitado al mejorar el perfil de riesgo de la operación misma de la organización. Al efecto, la probabilidad de la inversión puede mejorar en más de 10% para una organización mediana al considerar este factor derivado de alcanzar un nivel 3 de madurez.

¿Qué estrategias pueden adoptar las organizaciones para mejorar sus chances de tener éxito en sus esfuerzos SPI?

Las estrategias fueron exploradas tanto en las respuestas a las preguntas anteriores como, en más detalle, en la evaluación de escenarios discutida en el Capítulo 8. No obstante, abordando la cuestión desde un punto de vista general, un caso de negocios expresado en términos financieros mejora cuando aumentan los ingresos, se reducen los egresos, se comprimen los tiempos de despliegue de la inversión o el riesgo se acota.

Por otra parte se pueden conseguir ingresos adicionales derivados de la inversión en SPI, ya sea aumentando el tamaño de la organización o por efecto del apalancamiento financiero. Ambos son factores de negocios que pueden contribuir a transformar en viable una inversión en SPI.

Los costos se pueden reducir mediante el uso de un marco tecnológico que permita mayor eficiencia de implementación, que reduzca tanto esfuerzos como tiempos de despliegue. También pueden reducirse los costos efectivos, mediante mecanismos de subvención al costo necesario para desplegar el proceso mejorado. El costo de evaluación, en contra de lo que es percibido, no es un factor que influya significativamente la viabilidad de la inversión. Es claro también el beneficio de considerar sistemas flexibles de organización y cooperación entre firmas que permitan compartir los costos del despliegue de procesos asociados a la inversión en SPI.

El riesgo resulta acotado por la reducción de incertidumbre, por lo que si hay un activo que dependa de la ejecución del proceso de software es posible contribuir a la viabilidad del caso por su incremento de valor como consecuencia del efecto de apalancamiento financiero.

La decisión de progresar directamente como nivel inicial a SEI-CMMI™ Nivel 3 presenta

un mejor perfil de inversión que hacerlo en evaluaciones sucesivas, primero a Nivel 2 y luego a Nivel 3. Contribuyen los menores costos totales de evaluación y la mayor madurez que la organización adquiere al abordar los requisitos del Nivel 3. Este último factor puede explicar también por qué la probabilidad de éxito parece ser mejor en organizaciones que intentan ser evaluadas en Nivel 3 que en aquellas que lo hacen en Nivel 2.

9.3. Contribuciones originales

Este trabajo aporta contribuciones teóricas, metodológicas y empíricas. Sin embargo, uno de los principales aportes consiste en analizar los esfuerzos en SPI desde la perspectiva de la viabilidad de la inversión para realizarlos.

Las iniciativas SPI son, en general, abordadas en la literatura como una construcción técnica o metodológica, estudiándose sus fortalezas y debilidades en esos términos. Sólo algunas voces en la bibliografía advierten que su aplicación no es universal ni incondicionalmente viable e, incluso, se identifican algunos puntos de vista críticos que asignan a estas deficiencias la razón de la dificultad en adoptar los modelos de referencia. Este trabajo de investigación, al discutir las iniciativas SPI desde una perspectiva de viabilidad de inversión, aporta técnicas usualmente empleadas en contextos de negocios para estudiar cuál es el marco y las decisiones que hacen posible la inversión, cuál es su riesgo y qué magnitud de resultados puede esperarse de ella.

Este enfoque reconoce que, si bien los niveles de decisión pueden tener una comprensión general de los detalles técnicos involucrados, deben, al mismo tiempo, sopesar cómo aplicar recursos escasos a múltiples demandas de inversión. Al analizar la inversión desde la perspectiva del valor obtenido y la probabilidad (o riesgo) de conseguirlo, es posible comprender cuáles son los límites que hacen la inversión viable. El trabajar con el valor proporciona una mejor visibilidad sobre su importancia en relación a otras inversiones en competencia de recursos que la organización estuviera considerando. Esta aproximación al problema es validada posteriormente al mostrar una explicación razonable de la evidencia empírica sobre el comportamiento de las organizaciones. Apelando a una forma coloquial de expresarlo, el material discutido permite transformar la expresión “*SEI-CMMI™ es viable sólo para unas pocas organizaciones*” en “*SEI-CMMI™ no es viable sólo para unas pocas organizaciones*”.

Para concretar esta contribución general fue necesario el desarrollo de construcciones teóricas. La utilidad del Valor Presente Neto como instrumento de evaluación de inversiones en SPI fue discutido como parte del marco teórico en el Capítulo 2, Sección 2.7. Por su parte, el proponer el rol del apalancamiento financiero como fuente de valor en inversiones SPI se expuso con cierto

detalle en el Capítulo 2, Sección 2.7.4.3. Sin dudas, el principal aporte teórico fue la implementación de un modelo de inversión en SPI cuyos fundamentos conceptuales están expresados en el Capítulo 4 y cuyos detalles de construcción están en el Capítulo 7.

A partir del aporte de múltiples autores, fue necesario crear o refinar metodologías para abordar ciertos aspectos del problema. Entre ellas se encuentra la creación de un instrumento para medir perfiles de organizaciones SPI en Argentina, cuyo diseño e implementación fue descripta en detalle en el Capítulo 6 hasta las Secciones 6.1 y 6.4 inclusive, además de información adicional en el Apéndice G.

Por su parte, se propone la utilización de técnicas de aprendizaje por refuerzos como la metodología para validar la viabilidad de utilizar el Valor Presente Neto en proyectos SPI bajo condiciones de restricción de recursos, tales como son esperables en empresas PyMEs. Este análisis se presenta en el Capítulo 2, Sección 2.7.2. Finalmente, se propone un método para estimar posibles valores del factor de reducción de riesgo, que es esbozado en general en la Sección 7.4.2.4, seguido de una propuesta en detalle para una metodología que permite su estimación en el Apéndice A.

Finalmente, el trabajo de investigación se sostiene en una base empírica, cuyo relevamiento y análisis es una contribución en sí misma. Al efecto, se realizó el relevamiento del comportamiento en SPI de organizaciones en Argentina, que es discutido en el Capítulo 6, desde las secciones 6.5 en adelante. Este relevamiento es utilizado, además, como fuente para la calibración empírica del modelo dinámico de inversión en SPI durante la implementación y validación del modelo, oportunamente mostrada en el Capítulo 7. Utilizando los datos provenientes de la Encuesta 2007 realizada por CESSI, se relevaron las características de organizaciones de TI en Argentina respecto al SPI, tales como aspectos peculiares de la adopción de iniciativas SPI en Argentina, los principales modelos, los factores estadísticamente significativos que los impulsan y cómo las necesidades y particularidades de las organizaciones influyen en la adopción de los distintos marcos posibles. Por último, se despliegan los criterios básicos para encontrar estrategias que mejoren el perfil de las inversiones. Esto se analiza a partir en la discusión de escenarios realizada en el Capítulo 8 donde se estudia la sensibilidad de los resultados a variables individuales y, a partir de allí, diferentes estrategias posibles para la inversión SPI y sus resultados.

9.4. Limitaciones y amenazas a la validez

Ha sido una preocupación constante durante el desarrollo de esta tesis cómo abordar las dificultades que se derivan de ser éste el primer esfuerzo en este tipo de modelado. Esto implica que no se dispone de modelos similares contra los cuales comparar. Al mismo tiempo, los estudios de campo no aportan datos en las cantidades que hubieran sido deseables para poder realizar análisis

con la precisión que permita chequear con mayor profundidad diversos aspectos del modelo.

En los capítulos respectivos, y en particular en los Capítulo 5 y Capítulo 6, donde se abordan aspectos empíricos de la investigación, se discutieron las amenazas a la validez así como las limitaciones de los métodos utilizados. Resta, a modo de conclusión, elaborar un resumen de los principales temas a tener en consideración.

En la construcción del modelo se desplegaron fundamentos teóricos y se aplicó el ciclo hermenéutico a la formulación y posterior construcción. Aún así, ésta es una construcción eminentemente subjetiva, con fuertes anclajes en la experiencia.

Las relaciones propuestas fueron validadas por métodos estadísticos robustos pero, dados los márgenes de confianza y la potencia de los instrumentos utilizados, puede ser que fallen en capturar aspectos esenciales ocultos por el contexto de donde se han extraído los datos utilizados para calibrar. Es necesario, por lo tanto, ampliar el alcance a otros contextos y geografías para consolidar este aspecto.

Respecto a los instrumentos utilizados, es importante destacar que se emplearon criterios psicométricos para la definición de los rangos y las escalas usadas. Sin embargo, las medidas están ancladas en la experiencia y pueden, por lo tanto, tener sesgos subjetivos. Al mismo tiempo, se acepta con pragmatismo que el equilibrio entre la confianza en los instrumentos y los recursos disponibles para recolectar datos lleva necesariamente a compromisos en la potencia estadística, el error aceptado y la precisión obtenida.

Buena parte de este trabajo de investigación debe utilizar las respuestas que las organizaciones dan sobre sí mismas. Este hecho introduce sesgos subjetivos, puesto que las organizaciones tienden a reflejar en las respuestas lo que quieren que se perciba de ellas y no necesariamente lo que ellas son. Esto plantea un margen de amenaza a la validez de los casos empíricos que debe ser tenido en cuenta y, seguramente, ser objeto de validación adicional en el futuro.

Finalmente, todo esfuerzo de investigación debe intentar ser riguroso en sus fundamentos y sólido en las metodologías que emplea, al mismo tiempo que relevante en su alcance y conclusiones. En la medida que la complejidad del objeto de investigación crece, también lo hacen las probabilidades de dejar aspectos débiles en el marco propuesto, en el enfoque empleado, en las validaciones realizadas o incluso en las conclusiones a las que se arriba. También se incrementa el riesgo de abocarse a cuestiones o abordar aspectos de índole secundaria al dominio elegido para desarrollar la investigación. Para analizar este aspecto se apela al marco propuesto por Kitchenham [Kitchenham2002], que define los criterios que la investigación empírica en ingeniería de software debería satisfacer. Por su parte, la relevancia de las cuestiones abordadas por este trabajo de

investigación se analizará utilizando las recomendaciones de Benbasat [Benbasat1999]. Ambas revisiones pueden verse en detalle en el Apéndice H. El resultado de esta revisión muestra el cumplimiento de los criterios de robustez metodológica y relevancia, por lo que se puede sostener que esta tesis es robusta en su formulación y relevante en su contenido.

A pesar de las limitaciones observadas, se estima que este trabajo de investigación contribuye a la literatura de ingeniería de software al abordar aspectos previamente no elaborados en SPI y, en particular, en el contexto de aplicación preliminar de Argentina.

9.5. Trabajo Futuro

Enfocar el trabajo de investigación implica priorizar los temas que serán objeto de atención detallada y aquellos que, por su naturaleza, serán abordados en el futuro. El esfuerzo futuro debería estar dividido en pasos adicionales para fortalecer la estructura del trabajo, mediante el aporte de instrumentos más precisos y potentes. Al mismo tiempo, se debe continuar refinando los instrumentos que permiten determinar los factores a ser modelados o incluir nuevos en versiones adicionales.

Es clave, en palabras del Dr. Raffo [Raffo2009], obtener la confianza de los niveles gerenciales en la utilidad de modelos de este tipo a partir de la experiencia positiva lograda con su uso.

Sólo resta alentar el uso continuado de este modelo y sus evoluciones perfeccionadas, para que más organizaciones puedan alcanzar mayor competitividad a partir de iniciativas exitosas de mejora de procesos. En las siguientes secciones se verán algunas de las direcciones recomendadas para trabajos futuros en este campo.

9.5.1. Consolidar la estructura del trabajo

La prioridad de los trabajos futuros deberá ser dirigida a incrementar la potencia y la precisión de las muestras recolectadas sobre el perfil y comportamiento de organizaciones en Argentina que abordan esfuerzos de mejora de procesos. Esto mejorará la calidad de los análisis estadísticos que se puedan realizar y la confiabilidad de las conclusiones que de ellos se extraigan.

Una mayor participación de empresas en la recolección de datos abrirá las puertas, además, a realizar análisis de tipos categóricos o estratificados para distintos segmentos de la población, con lo que poder dotar al modelo de mayor resolución a partir de parámetros que caractericen en forma más ajustada a las organizaciones intervinientes. Un parámetro de interés sobre el cual es necesario incrementar la evidencia empírica es la aplicabilidad de las consideraciones de este modelo con organizaciones utilizando procesos exclusivamente basados en metodologías ágiles. La colección de

datos debe incluir otros contextos además de Argentina para obtener confirmación sobre la generalidad de las conclusiones.

9.5.2. Instrumentos adicionales

Es necesario realizar actividades de investigación ulteriores para el desarrollo de mejores herramientas que ayuden a medir el riesgo que enfrenta una organización de no alcanzar las metas de evaluación formal luego de su esfuerzo SPI. Se reconoce en este trabajo la importancia de este factor para determinar el riesgo al que está sujeto el resultado, pero su evaluación es preliminar e indirecta en el mejor de los casos. Es, por lo tanto, necesario profundizar en la comprensión de la probabilidad de éxito en las evaluaciones. De esa forma se podrá ponderar mejor la esperanza de las inversiones en SPI.

Por su parte, la evidencia recolectada es suficiente para conjeturar la importancia de los beneficios intangibles al momento de analizar la viabilidad de la inversión SPI. Este trabajo de investigación se realiza adoptando el criterio que el costo de oportunidad es una forma adecuada de capturar este efecto, pero en trabajos posteriores se debe confirmar este criterio y analizar la conveniencia de considerar variables independientes o parámetros externos adicionales.

La utilidad de realizar planteos de índole económica-financiera indica la conveniencia de perseverar en la creación de criterios que le permitan a las organizaciones, en particular pequeñas y medianas, determinar cuál es el costo de oportunidad al que deben descontar sus inversiones en mejora de procesos y, fundamentalmente, cuánto valor adicional les aportará si se completa exitosamente. El efecto de apalancamiento debe ser objeto de comprobaciones empíricas adicionales que muestren en forma más tangible los procesos de creación y destrucción de valor utilizados en este trabajo, pero desde una construcción mayormente teórica.

La utilización de mecanismos basados en opciones reales promete aportar instrumentos eficaces en el objetivo de ponderar el riesgo de la organización, aunque será necesario realizar planteos teóricos y trabajos de campo substanciales para demostrar la utilidad del instrumento.

Finalmente, se identifica que uno de los principales factores que mueven a la viabilidad de las iniciativas en SPI es la escala de las organizaciones que las emprenden. Debido a eso, es clara la oportunidad de un vasto campo de estudio en la aplicación de sistemas organizacionales originales para que, no ya empresas individuales, sino grupos de empresas puedan abordar en forma conjunta inversiones en SPI.

9.6. Reflexiones finales

Este esfuerzo de investigación se despliega alrededor de organizaciones desarrolladoras de

software realizando mejoras en sus procesos. Al hacerlo, se intenta de esta manera incrementar su competitividad y sus posibilidades de acceder a mercados internacionales.

Al comienzo del trabajo, se discutieron algunas de las preguntas que enfrentan las organizaciones cuando consideran abordar un esfuerzo de mejora de procesos. El modelo resultante provee a investigadores, grupos de mejora de procesos, ejecutivos, observadores de la industria y funcionarios gubernamentales la habilidad de contestar alguna de esas preguntas y disponer de herramientas para tomar decisiones y establecer políticas sobre una base informada.

Estas contribuciones proveen los fundamentos para futuros estudios en mejora de proceso y sus impactos en organizaciones de diferente tamaño, con énfasis en organizaciones pequeñas y medianas, las cuales forman el substrato competitivo de Argentina.

La industria de software es clave por muchos aspectos, ya que representa una actividad de alto valor agregado, sobre la cual Argentina tiene diferenciadores competitivos claves, y que tiene el potencial para transformarse en una plataforma tanto de exportación de servicios como de mejora en la competitividad del resto de las industrias locales.

Este escenario no está exento de dificultades, ya que la competitividad no se obtiene solamente con un contexto macroeconómico favorable, sino que es necesario además disponer de talento e infraestructura y, a nivel de las organizaciones individuales, de una capacidad creíble de poder participar en proyectos complejos. La credibilidad se obtiene, entre otros factores, mediante la adherencia a modelos de referencia adoptados internacionalmente, tal como el SEI-CMMI™.

Más allá de los logros académicos, esta tesis intenta un primer esfuerzo para producir aportes que contribuyan a resolver problemas reales y críticos de la industria. Las organizaciones deben hacer su parte, comprendiendo la importancia estratégica que tiene abordar inversiones en SPI y definir cuáles son los escenarios en que están dispuestas a hacerlo.

Es necesario, al mismo tiempo, trabajar en conjunto con instituciones de la industria, el ámbito académico y el gobierno para proveer algunas condiciones marco, en especial a organizaciones PyMEs, que permitan impulsar y consolidar las iniciativas que las organizaciones decidan emprender.

Los análisis realizados y las conclusiones obtenidas indican que las organizaciones, en especial las PyMEs, requieren aliento en la forma de financiamiento de los esfuerzos de implementación, mecanismos que permitan expandir el horizonte de inversión e incorporar el crecimiento como una consecuencia prácticamente inevitable de los esfuerzos en SPI.

Si se tratara de una industria convencional, donde la inversión es realizada a menudo para obtener un activo físico y tangible, las fuentes de financiamiento podrían naturalmente utilizar este activo como colateral mediante mecanismos prendarios o hipotecarios. Desafortunadamente, las

inversiones en SPI incorporan a la organización activos intangibles que no son considerados aptos para actuar como garantía de estos mecanismos crediticios, pero que aún así proporcionan la plataforma para un funcionamiento más eficiente y el motor para su crecimiento. El modelo utilizado en esta tesis permite evaluar los riesgos de una inversión en SPI, los tiempos necesarios y la magnitud de los retornos, es decir, todos factores que intervienen en la determinación del potencial de financiamiento en una inversión y, por lo tanto, habilitan medir los resultados de la inversión en SPI como *colateral* de su financiamiento.

Al mismo tiempo, es claro que las organizaciones, en particular aquellas que operan en escala de PyMEs, tienen dificultades para sostener los plazos que hacen viables a las inversiones en SPI. Debe entonces perseguirse la implementación de instrumentos financieros, fiscales o promocionales que permitan a la organización realizar el puente entre sus horizontes de inversión normales y los necesarios para abordar SPI.

El crecimiento, prácticamente inevitable, de las organizaciones luego de completar su esfuerzo en SPI es el componente de los escenarios que modifica los umbrales de viabilidad de las inversiones en SPI para PyMEs. Es necesario entonces establecer mecanismos de aliento que permitan asegurar el cumplimiento del crecimiento para poder ser tomado como hipótesis del caso de negocios..

Estos mecanismos requieren que la industria, en la forma de agrupaciones a nivel nacional o estructuras organizacionales de propósito definido, así como el Estado, tomen un rol activo para el fomento de las iniciativas en SPI.

En el caso de la industria, es esencial el trabajo conjunto de organizaciones con instituciones intermedias para realizar aportes que permitan definir marcos de trabajo tecnológicos, a nivel de productos y procesos, que logren reducir el esfuerzo y tiempo de implementación. La industria necesita organizarse también para crear modelos de colaboración entre organizaciones, que permitan a las compañías participantes compartir los costos de implementación y evaluación. Al mismo tiempo, deben aprovecharse programas de trabajo conjunto con las universidades para promover líneas de investigación adicionales para brindar marcos teóricos y aplicaciones piloto a instrumentos como los mencionados en esta sección.

Por su parte, el Estado debe tener un rol significativo en la promoción de inversiones en SPI, a partir de políticas derivadas del marco legal, fiscal o promocional. La Ley 25922 de Software es ciertamente un paso en la dirección correcta, pero la evidencia empírica muestra que su influencia es limitada en el abordaje de iniciativas en SPI basadas en SEI-CMMI™. No surge evidencia empírica sustentable que recomiende estrategias en la dirección general de definir modelos de corte local que regulen los esfuerzos en implementación de SPI. Sin embargo, existen oportunidades

significativas para aplicar políticas estatales de promoción tendientes a favorecer la mitigación del esfuerzo de implementación de procesos de software maduros, facilitar instrumentos para extender los horizontes de inversión y proveer créditos promocionales a tasas preferenciales que promuevan la adopción de iniciativas SPI y el crecimiento asociado con ellas.

Referencias Bibliográficas

- Abdel-Hamid1990 Abdel-Hamid, T.K.; "Investigating the cost/schedule trade off in software development" IEEE software, V7N1 pp.97-105. 1990.
- Agrawal2007 Agrawal, M.; Chari, K.; "Software Effort, Quality, and Cycle Time:A Study of CMM Level 5 Projects" IEEE Transactions on Software Engineering, V33N3. 2007.
- Ahire1996 Ahire, S.L; Golhar, D.Y.; "Quality Management in Large vs. Small Firms: An empirical investigation" Journal of Small Business Management, V34N2 pp.1-13. 1996.
- Albrecht1979 Albrecht, A.J.; "Measuring application development productivity" Proceedings of IBM Application development Joint Share/Guide Symposium, Monterrey CA. 1979.
- Alvarez1997 Alvarez, V.A.; Mesutti, D.J.; Graffi, H.R.; "Selección de Inversión" Edición Macchi. 1997. ISBN:9789505372119.
- Aranda1993 Aranda, R.; Fiddaman, T.; Oliva, R.; "Quality Microworlds: Modeling the impact of quality initiatives over the software product lifecycle" American Programmer, pp.52-61. May 1993.
- Argyris1996 Argyris, C.; Schön, D.A.; "Organizational Learning II, Theory, method and practice" Reading Addison-Wesley. 1996.
- Arora2002 Arora, A.; Athreyeb, S.; "The software industry and India's economic development" Information Economics and Policy 14, pp.253-273. 2002.
- Babbel1997 Babbel, D.F.; Merrill, C.; "Economic Valuation Models for Insurers" 97-44 Financial Institutions Center Alfred P. Sloan Foundation The Wharton School, University of Pennsylvania, Philadelphia, PA. 1997.
- Bagley2000 Bagley, N.; "Chapter 13: The Capital Assets Pricing Model Prentice Hall Inc.". 2000.
- Balci1984 Balci, O.; Sargent, R.G.; "A Bibliography on the Credibility Assessment and Validation of Simulation and Mathematical Models" Simuletter, V15N3 pp.15-27. 1984.
- Balci1989 Balci, O.; "How to Assess the Acceptability and Credibility of Simulation Results" Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference, pp.62-71. 1989.
- Balzer1981 Balzer, R.; "Transformational implementation: An example" IEEE Transactions on Software Engineering, V7N1 pp.3-14. 1981.
- Bamberger1997 Bamberger, J.; "Essence of the Capability Maturity Model" Computer. Jun 1997.
- Banks1988 Banks, J.; Gerstein, D.; Searles, P.; "Modeling Processes Validation and Verification of Complex Simulations" Methodology and Validation Simulation Series, The Society of Computer Simulation, V19N1 pp.13-18. 1988.
- Banks1998 Banks, J.; et al; "Handbook of Simulation: Principles, methodology, advances, applications and practice" Engineering & Management Press John Wiley and Son. 1998. ISBN:0471134031.
- Bannerman2008 Bannerman, P.; "Capturing Business Benefits from Process Improvement: Four Fallacies and What to Do About Them" BIPI'08, Leipzig, Germany. May 2008.
- Baroudi1989 Baroudi, J.; Orlikowski, W.; "The problem of statistical power in MIS research" MIS Quarterly, V13N1 pp.87-106. 1989.
- Basili1975 Basili, V.R.; Turner, A.J.; "Iterative Enhancement: A Practical Technique for Software Development" IEEE Transactions on Software Engineering, V1N4 pp.390-396. 1975.
- Basili1978 Basili, V.R.; Zelkowitz, M.; "Analyzing Medium-Scale Software Developments" Proceedings 3rd International Conference on Software Engineering. 1978.
- Basili1984 Basili, V.R.; Weiss, D.; "A methodology for collecting valid software engineering data" IEEE Transactions on Software Engineering, V10N6 pp.728-738. 1984.
- Basili1988 Basili, V.R.; Rombach, H.D.; "Support for Comprehensive Reuse" IEEE Software Engineering Journal, V6N5 pp.303-316. 1988.
- Basili1989 Basili, V.R.; "Software development: A Paradigm for the Future" Proceedings of the 13th Annual International Computer Software & Application Conference (COMPSAC) Keynote address, Orlando, FL. Sept 1989.
- Basili1991 Basili, V.R.; Rombach, H.D.; "Support for Comprehensive Reuse" IEEE Software Engineering Journal, V6N5 pp.303-316. 1991.
- Basili1995 Basili, V.R.; Caldiera, G.; "Improve Software Quality by Reusing Knowledge and Experience" Sloan Management Review, V37N1 pp.55-64. 1995.
- Basili1996 Basili, V.R.; "The Role of Experimentation in Software Engineering: Past, Current and Future" Proceedings of the 18th International Conference on Software Engineering (ICSE18) Berlin, Germany, pp.442-449. March 1996.
- Bate1995 Bate, R.; "A systems engineering capability maturity model" Version 1.1 Technical Report CMU/SEI-95-MM-003, Pittsburgh PA Carnegie-Mellon University Software Engineering

- Institute. 1995.
- Bechtold1996 Bechtold, R.T.; "Improving the Software Process through Process Definition and Modeling" London, International Thompson Computer Press. 1996.
- Beck1999 Beck, K.; Cynthia, A.; "Extreme Programming Explained: Embrace change" Addison-Wesley Professional, 2nd edition. 2004. ISBN:0321278658.
- Benaroch1999 Benaroch, M.; Kauffmann, R.; "A Case for using Real Options Pricing Analysis to Evaluate Information Technology Investments" Information Systems Research, V10N1. 1999.
- Benbasat1999 Benbasat, I.; Zmud, R.W.; "Empirical Research in Information Systems: The Practice of Relevance" MIS Quarterly, V23N1 pp.3-16. 1999.
- Bhat2006 Bhat, J.M.; Gupta, M.; Murthy, S.N.; "Lessons from Offshore Outsourcing" IEEE Software pp.38-44. Sept/Oct 2006.
- Black1996 Black, S.A.; Porter, L.J.; "Identification of the Critical Factors of TQM" Decision Sciences, V27N1 pp.1-21. 1996.
- Boehm1978 Boehm, B.W.; Brown, J.R.; Lipow, M.; McLeod, G.; Merritt, M.; "Characteristics of Software Quality" North Holland. 1978.
- Boehm1981 Boehm, B.W.; "Software Engineering Economics" Prentice Hall. 1981. ISBN:0138221227
- Boehm1988 Boehm, B.W.; "A Spiral Model of Software Development and Enhancement" IEEE Computer, V21N5 pp.61-72. 1988.
- Boehm2000a Boehm, B.W.; "Unifying Software Engineering and Systems Engineering" Computer. V33N3 pp.114-116. March 2000. [doi:10.1109/2.825714].
- Boehm2000b Boehm, B.W.; Sullivan, K.J.; "Software economics: a roadmap, Proceedings of the Conference on The Future of Software Engineering" Limerick, Ireland, pp.319-343. Jun 2000. [doi>10.1145/336512.336584]
- Boehm2002 Boehm, B.W.; Sullivan, K.J.; "Value Based Software Engineering" Workshop on New Vision for Software Design and Productivity. 2002.
- Bollinger1991 Bollinger, T.; McGowan, C.; "A Critical Look at Software Capability Evaluations" IEEE Software, V8N4 pp.25-41. 1991.
- Boria2002 Boria, J.L.; "A framework for understanding software process improvement's return on investment" Portland International Conference on Management and Technology, pp.847-851.
- Brealey2000 Brealey, R.; Myers, S.; "Principles of Corporate Finance" McGraw-Hill, 6th Edition. 2000.
- Briand1996 Briand, L.C.; Differding, C.M.; Rombach, H.D.; "Practical Guidelines for Measurement based Process Improvement" Software Process: Improvement and Practice, V2 pp.253-280. 1996.
- Britcher1999 Britcher, R.N.; Glass, R.L.; "The limits of software: people, projects, and perspectives" Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc. 1999. ISBN:0201433230.
- Brodman1994 Brodman, J.; Johnson, D.; "What Small Business and Small Organizations Say About the CMM: Experience Report" ICSE, pp.331-340. 1994.
- Brodman1995 Brodman, J.; Johnson, D.; "Return on Investment (ROI) from Software Process Improvement as Measured by US Industry" Software Process: Improvement and Practice 1(1), pp.35-47. 1995.
- Brodman1996 Brodman, J.; Johnson, D.; "Realities and Rewards of Software Process Improvement" IEEE Software, V13N6 pp.99-101. 1996.
- Brodman1997 Brodman, J.; Johnson, D.; "A Software Process Improvement Approach Tailored for Small Organizations and Small Projects" ICSE, pp.661-662. 1997.
- Brodman2000 Brodman, J.; Johnson, D.; "Applying CMM Project Planning Practices to Diverse Environments" IEEE Software 17(4). 2000.
- Brooks1975 Brooks, F.P.; "The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering" Addison-Wesley Professional, 2nd edition. 1995. ISBN:0201835959.
- BSI2001 "The TickIT Guide" Issue 5 British Standards Institution BSI-DISC. 2001.
- Budlong1995 Budlong, F.; Peterson, J.; "Software Metrics Capability Evaluation Guide" The Software Technology Support Center, Ogden Air Logistics Center, Hill Air Force Base. 1995.
- Burke1997 Burke, S.; "Radical Improvements Require Radical Actions: Simulating a High Maturity Software Organization" Technical Report CMU/SEI-96-TR-024 ESC-TR-96-024. Jun 1997.
- Burnstein1999 Burnstein, I.; Homiyen, A.; Suwanassart, T.; Saxena, G.; Grom, R.; "A Testing Maturity Model for Software Test Process Assessment and Improvement" Software Quality Professional, V1N4 pp.8-21. 1999.
- Butler1995 Butler, K.L.; "The Economic Benefits of Software Process Improvement" CrossTalk. 1995.
- Campbell1963 Campbell, D.T.; Stanley, J.C.; "Experimental and Quasi-Experimental Designs for Research" Wadsworth Publishing. ISBN:0395307872.
- Capell2004 Capell, P.; "Benefits of Improvement Efforts" Special Report CMU/SEI-2004-SR-010. Sep 2004.

- Card1991 Card, D.; "Understanding Process Improvement" IEEE Software, V8N4 pp.102-103. 1991.
- Card2002 Card, D.; "Managing Software Quality with Defects" compsoc, 26th Annual International Computer Software and Applications Conference, pp.472. 2002.
- Carreira2001 Carreira, R.; Ramos, R.I.; Toro B.M.; "Marco dinámico integrado para la mejora de los procesos software" Proceedings of the II ADIS 2001 Workshop on Decision Support in Software Engineering Almagro, Ciudad Real, Spain. 2001.
- Carrillo1997 Carrillo, J.; Gaimon, C.; "The Implications of Firm Size on Process Improvement Strategy" Proc., PICMET, Portland, OR. Jul 1997.
- Cater2001 Cater-Steel, A.P.; "Process Improvement in Four Small Software Companies" Software Engineering Conference Proceedings, Australia, pp.262-272. 2001.
- CESSI2006 CMMI: su aplicación en Empresas en general y en PyMES, Beneficios y Cuestionamientos, Comisión de Calidad CESSI <http://www.cessi.org.ar>. 2006.
- CESSI2007 CESSI Presentación Institucional. Encuentro Empresarial 2007. <http://www.cessi.org.ar>
- Chichakly1993 Chichakly, K.J.; "The bifocal vantage point: Managing Software Projects From a Systems Thinking Perspective" American Programmer, pp.18-25. May 1993.
- Christie1993 Christie, A.M.; "Process Centered Development Environment" SEI CMU/SEI-93-TR-4. Pittsburgh, PA, Carnegie-Mellon University – SEI. 1993.
- Ciolkowski2003 Ciolkowski, M.; Laitenberger, O.; Vegas, S.; Biffl, S.; "Practical Experiences in the Design and Conduct of Surveys in Empirical Software Engineering" ESERNET 2001-2003, LNCS 2765, pp.104-128. 2003.
- Chen1976 Chen, P.P.; "The Entity-Relationship Model-Toward a Unified View of Data" ACM Transactions on Database Systems, Vol. 1, No. 1. March 1976, Pages 9-36. 1976.
- Clark1997 Clark, B.K.; "The Effects of Software Process Maturity on Software Development Effort" doctoral dissertation, Univ. of Southern California, Los Angeles. 1997.
- Clark2000 Clark, B.K.; "Quantifying the effects of Process Improvement on Effort" IEEE Software. Nov 2000.
- Clouse2008 Ahern, D.M.; Clouse, A.; Turner, R.; "CMMI Distilled: A Practical Introduction to Integrated Process Improvement" SEI Series in Software Engineering, 3rd Edition. ISBN:0321461088.
- Coallier1994 Coallier, F.; McKenzie, R.M.; Wilson, J.F.; Hatz, J.; "Trillium: Model for Telecom Product Development and Support Process Capability" Release 3.0 Bell Canada. 1994.
- Cochran1977 Cochran, W.G.; "Sampling Techniques" New York, NY. John Wiley and Sons. 3rd Edition. 1977.
- Cochran2001 Cochran, R.; "Ireland: A software success story" IEEE Software, March/April 2001 pp.87-89. Mar/Apr 2001.
- Cohen1988 Cohen, J.; "Statistical power analysis for the behavioral sciences" 2nd Edition, Laurence Erlbaum. 1988.
- Coleman2005 Coleman, D.K.; Larsen, P.; Shaw, M.; Zelkowitz, M.V.; "Software Process Improvement in Small Organizations" A Case Study IEEE Software, pp.68-75. Nov 2005.
- Coleman2008 Coleman, D.K.; O'Connor, R.; "Investigating software process in practice: A grounded theory perspective" The Journal of Systems and Software 81, pp.772-784. 2008.
- Colofello1996 Collofello, J.; Tvedt, J.; "Evaluating the effectiveness of Process Improvement on Software development Cycle Time via System Dynamics Modeling" Proceedings of COMPSAC, pp.318-326. 1996.
- Colofello1999 Colofello, J.; Roehling, S.; "System Dynamics Modeling Applied to Software Outsourcing Decision Support" Proceedings of ProSim Workshop '99, Portland OR. 1999.
- Conradi1992 Conradi, R.; Fernstrom, C.; Fugetta, A.; "Towards a Reference Framework for Process Concepts" Proceedings of the 2nd European Workshop on Software Process Technology (EWSPT'92) LNCS, Springer-Verlag, pp.3-17. 1992.
- Conradi2002 Conradi, R.; Fuggetta, A.; "Improving Software Process Improvement" IEEE Software, pp.92-99. Jul 2002.
- Cooper1980 Cooper, K.G.; "Naval Ship Production: Acclaim Settled and a Framework Built" Interfaces, V10N6. 1980.
- Cooper1993 Cooper, K.G.; Mullen, T.W.; "Swords and Plowshares: The Rework Cycles of Defense and Commercial Software Development Projects" American Programmer, pp.41-51. May 1993.
- Cooper1999 Cooper, J.; Fisher, M.; Sherer, S.W.; "Software Acquisition Capability Maturity Model" (SA-CMM) Version 1.02 CMU/SEI-99-TR-002 Pittsburgh, PA, Carnegie-Mellon University – SEI. 1999.
- Crosby1979 Crosby, P.B.; "Quality is Free: The art of making quality certain" New York. McGraw-Hill. 1979.
- Cuozzo2007 Cuozzo, J.; "Capacidad de Innovación para el desarrollo de Software de alta tecnología: Análisis de los Procesos de Administración de Proyectos y sus relaciones con la capacidad de innovación -Aplicación a las comunicaciones y al sector aeroespacial de Argentina" Tesis

- Doctoral Universidad Nacional de Córdoba- Facultad de Ciencias Económicas. 2007.
- Curtis1995 Curtis, B.; Hefley, W.E.; Millar, S.A.; "People Capability Maturity Model" Version 1.0 CMU/SEI-95-MM-002 Pittsburgh, PA, Carnegie-Mellon University – SEI. 1995.
- Davenport1993 Davenport, T.H.; "Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology" Harvard Business Press. 1992. ISBN:0875843662.
- Davis1988 Davis, D.; Bersoff, E.H.; Comer, E.R.; "A Strategy for Comparing Alternative Software Development Life Cycle Models" IEEE Transactions on Software Engineering, V14N10 pp.1453-1461. 1988.
- Deephouse1996 Deephouse, C.; Mukhopadhyay, T; Goldenson, D.R.; Kellner, M.I.; "Software Process and Project Performance" Journal of Management Information Systems, V12N3 pp.187-205. 1996.
- DeMarco1986 DeMarco, T.; "Controlling Software Projects: Management, Measurement, and Estimates" Prentice-Hall. 1986. ISBN:0131717111.
- DeMarco2003 DeMarco, T.; "Waltzing with Bears: Managing Risk on Software Projects" Dorset House Publishing Co. 2003. ISBN:0932633609.
- Deming1982 Deming, W.E.; "Quality, productivity and competitive position" Cambridge, Massachusetts MIT Centre for Advanced Engineering Study. 1982.
- Deming1986 Deming, W.E.; "Out of the crisis" Cambridge, Massachusetts MIT Centre for Advanced Engineering Study. 1986.
- Derniame1999 Derniame, J.C.; Kaba, B.A.; Waltell, D.; "Software Process: Principles, Methodology and Technology" LNCS V1500 Berlin Springer-Verlag. 1999.
- Diaz1997 Diaz, M.; Sligo, J.; "How Software Process Improvement Helped Motorola" IEEE Software, V14N5 pp.75-81. 1997. [doi:10.1109/52.605934].
- Diaz2002 Diaz, M.; King, J.; "How CMM Impacts Quality, Productivity, Rework, and the Bottom Line" CrossTalk, V15 I3 pp.9-14. 2002.
- Dion1993 Dion, R.; "Process Improvement and the Corporate Balance Sheet" IEEE Software, pp.28-35. Jul 1993.
- Donzelli2001 Donzelli, P.; Iazeolla, G.; "Hybrid simulation modelling of the software process" Journal of Systems and Software 59, pp.227-235. 2001.
- Doraszelski2001 Doraszelski, U.; "The net present value method versus the option value of waiting: A note on Farzin, Huisman and Kort" Journal of Economic Dynamics & Control 25, pp.1109-1115. 2001.
- Dowson1993 Dowson, M.; "Software Process Themes and Issues" Proceedings of the 2nd International Conference on the Software Process. IEEE Computer Society, pp.54-62. 1993.
- Drew1992 Drew, D.; "Tailoring the SEI Capability Maturity Model (CMM) to a Software Sustaining Engineering Organization" Proceedings of the International Conference on Software Maintenance, pp.137-144. 1992.
- Dromey1995 Dromey, R.G.; "A model for software product quality" IEEE Transactions on Software Engineering N2 pp.146-163. 1995.
- Dyba2001 Dyba, T.; "Enabling software process improvement, an investigation of the importance of organizational issues" PhD Thesis, Norwegian University of Science and Technology. 2001.
- Dyba2005 Dyba, T.; "An empirical investigation of the key factors for success in software process improvement" IEEE Transactions on Software Engineering, V31 I5 pp.410-424. 2005.
- Edelman1975 Edelman, R.M.; "Engineering Manpower Resource Management in a Multi-Project Environment" Unpublished M.S. Thesis, M.I.T., Sloan School of Management, Cambridge, MA. 1975.
- EFQM1999 EFQM; "The EFQM Excellence Model" European Foundation for Quality Management, Brussels. 1999.
- Eickelmann2003 Eickelmann, N.; "An Insider's View of CMM Level 5" IEEE Software. V20N4 pp.79-81. 2003.
- Eickelmann2004 Eickelmann, N.; "Measuring Maturity Goes beyond Process" IEEE Software. 2004.
- ElEmam1997 El Emam, K.; Briand, L.; "Costs and Benefits of Software Process Improvement" International Software Engineering Research Network technical report, ISERN-97-12. 1997.
- ElEmam1999 ElEmam, K.; Briand, L.; "Cost and Benefits of Software Process Improvement" IEEE Computer Society Press. Pp.177-197. 1999.
- Erdogmus2000 Erdogmus, H.; "Value of Commercial Software Development under Technology Risk" The Financier, V7. NRC 44890. 2000.
- Ethiraj2003 Ethiraj, S.; "A study of firm capabilities and performance in the software services industry" Technology Innovation at Wharton School and the University of Michigan. 2003.
- Fairley1976 Fairley, R.E.; "Dynamic Testing of Simulation Software" Proceedings of the 1976 Computer Simulation Conference Washington DC, pp.40-46. 1976.
- Fayad1997 Fayad, M.E.; Laitinen, M.; "Process Assessment Considered Wasteful" Communications of

- the ACM, V40N11 pp.125-128. 1997.
- Feigenbaum1991 Feigenbaum, A.V.; "Total Quality Control" McGraw-Hill Companies, 3 Rev Sub edition. 1991. ISBN:0070203547.
- Feiler1993 Feiler, P.H.; Humphrey, W.S.; "Software Process Development and Enactment: Concepts and Definitions" Proceeding of the 2nd International Conference on the Software Process IEEE Computer Society Press, pp.28-40. 1993.
- Fenton1994 Fenton, N.E.; "Software Measurement: A Necessary Scientific Basis" IEEE Transactions on Software Engineering, V20N3 pp.199-206. 1994.
- Fenton1997 Fenton, N.E.; Pfleeger, S.H.; "Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach" International Thomson Computer Press. UK. 1997.
- Finkelstein1994 Finkelstein, A.; Kramer, J.; Nuseibeh, B.; "Software Process Modelling and Technology" Research Studies Press Taunton, UK. 1994.
- Fiol1985 Fiol, C.M.; Lyles, M.A.; "Organizational learning" Academy of Management Review, V10N4 pp.803-813. 1985.
- Florac1997 Florac, W.A.; Park, R.E.; Carleton, A.D.; "Practical Software Measurement: Measuring for Process Management and Improvement" Guidebook CMU/SEI-97-HB-003. Carnegie Mellon University, SEI. 1997.
- Fowler1990 Fowler, P.; Rifkin, S.; "Software Engineering Process Group Guide" Technical Report CMU/SEI-90-TR-24, Carnegie Mellon University, SEI. 1990.
- Franklin2005 Franklin, G.; Powell, J.D.; Emami-Naeini, A.; "Feedback Control of Dynamic Systems" Chapter 2, Prentice Hall, 5 edition. 2005. ISBN:0131499300.
- Fuggetta2000 Fuggetta, A.; "Rethinking the modes of software engineering research" Journal of Systems and Software, V47N2-3 pp.133-138.
- Galin2006 Galin, D.; Avrahami, M.; "Are CMM Program Investments Beneficial? Analyzing Past Studies" IEEE Software, V23N6 pp.81-87. 2006. [doi:10.1109/MS.2006.149].
- Garcia2006 Garcia, S.; "Thoughts on Applying CMMI in Small Settings" SEI Carnegie-Mellon Paper. 2006.
- Garvin1983 Garvin, D.A.; "Quality on the Line" Harvard Business Review, V61N5 pp.65-75. 1983.
- Gass1987 Gass, S.I.; Joel, L.; "Concepts of Model Confidence" Computers and Operations Research, V8N4 pp.341-346. 1987.
- Gibson2006 Gibson, D.; Goldenson, D.; Kost, K.; "Performance Results of CMMI-Based Process Improvement" SEI-CMU Technical Report CMU/SEI 2006 TR-006. 2006.
- Glass1994 Glass, R.L.; "The Software Research Crisis" IEEE, V11N6 pp.42-47. 1994.
- Glazer2008 Glazer, H.; Dalton, J.; Anderson, D.; Konrad, M.; Shrum, S.; "CMMI® or Agile: Why Not Embrace Both!" Technical Note CMU/SEI-2008-TN-003. 2008.
- Goldenson1995 Goldenson, D.R.; Herbsleb, J.D.; "After the appraisal: A Systematic Survey of Process improvement, its benefits and factors that influence success Technical Report CMU/SEI-95-TR-009 Carnegie Mellon University SEI". 1995.
- Goldenson1998 Goldenson, D.; ElEmam, K.; McCurley, J.; Herbsleb, J.; "Success or Failure? Modeling the Likelihood of Software Process Improvement" International Software Engineering Research Network technical report. ISERN-98-15+C21. 1998.
- Goldenson2003 Goldenson, D.; Gibson, D.; "Demonstrating the impact and benefits of CMMI: an update and preliminary results" Technical Report CMU/SEI-2003-SR-009, Software Engineering Institute, Pittsburgh, PA. 2003.
- Gong2004 Gong, R.; Li, Q.; Liu, X.; Wang, Q.; "Modelling for Business Process Design: A Methodology Based on Causal Loop Diagram" IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.6149-6154. 2004.
- Gopalakrishnan1997 Gopalakrishnan, S.; Damapour, F.; "A review of innovation research in economics, sociology and technology management" Omega: International Journal of Management Services, V25N1 pp.15-28. 1997.
- Grady1992 Grady, R.B.; "Practical Software Metrics for Project Management and Process Improvement" Prentice-Hall. 1992. ISBN:0137203845.
- Grady1997 Grady, R.B.; "Successful Software Process Improvement" Prentice Hall, Upper Saddle River NJ. 1997. ISBN:0136266231.
- Gray1998 Gray, E.M.; Smith, W.L.; "On the limitations of Software Process Assessment and the Recognition of a Required Re-orientation for Global Process Improvement" Software Quality Journal, V7N1 pp.21-34. 1998.
- Gremba1997 Gremba, J.; Myers, C.; "The IDEAL Model: A Practical Guide for Improvement" Bridge Issue 3 Carnegie Mellon University SEI. 1997.
- Groppelli1995 Groppelli, A.A.; Nikbakht, E.; "Finance" 3rd Edition, Barron's Educational Services. ISBN:0764134205.1995.
- Gryna2007 Gryna, F.; "Analisis y planeacion de la calidad y el metodo juran" McGRAW

- hill/interamericana de españa, 5° edicion. 2007. ISBN:970106142x.
- Guerrero2004 Guerrero, F.; Eterovic, Y.; "Adopting the SW-CMMI in Small IT Organizations" IEEE Software, pp.29-35. 2004.
- Hammer1993 Hammer, M.; Champy, J.; "Reengineering the Corporation, a manifesto for business revolution" Harper Business. 1993.
- Hansen1996 Hansen, G.A.; "Simulating Software Development Processes" IEEE Computer, pp.73-77. 1996.
- Harrison1999 Harrison, W.; Raffo, D.; Settle, J.; Eickelmann, N.; "Making a business case for software process improvement" Software Quality Journal, V8N2. 1999.
- Harrison2001a Harrison, W.; Settle, J.; Raffo, D.; "Assessing the Value of Improved Predictability due to Process Improvements" Toronto, Canada. 2001.
- Harrison2001b Harrison, W.; "Using the economic value of the firm as the basis for assessing the value of process improvements" Proceedings of the 2001 NASA/IEEE Software Engineering Workshop, College Park Maryland. 2001.
- Harrison2004 Harrison, W.; "Clueless and Oblivious" IEEE Software. 2004.
- Harter1998 Harter, D.; Slaughter, S.; Krishnan, M.S.; "The life cycle effects of software process improvement. A longitudinal analysis" International Conference on Information Systems (ICIS). 1998.
- Harter2000 Harter, D.; Slaughter, S.; "Process Maturity and Software Quality: A field study" International Conference on Information Systems (ICIS) Brisbane, Australia. 2000.
- Hayes1995 Hayes, W.; Zubrow D.; "Moving On Up: Data and Experience Doing CMM-Based Process Improvement" Technical Report CMU/SEI-95-TR-008 ESC-TR-95-008. 1995.
- Hays1994 Hays, W.L.; "Statistics" 5th Edition Harcourt Brace New York. 1994. ISBN:0030744679.
- Hefner2001 Hefner, R.; Tauser, J.; "Things They Never Taught you in CMM School" Proceedings of the 26th Annual NASA Goddard Software Engineering Workshop table of contents, pp.91. 2001. ISBN:0769514561.
- Hefner2005 Hefner, R.; "Measuring the Benefits of Mature Processes" 20th International Forum on COCOMO and Software Cost Modeling. 2005.
- Hempel1966 Hempel, C.G.; "Philosophy of Natural Science" Foundations of Philosophy Series, Englewood Cliffs, Prentice-Hall. 1966. ISBN:0136638236.
- Henningson2003 Henningsson, K; Birath, T.; Molin, P.; "A Fault-Driven Lightweight Process Improvement Approach" Proceedings of the 29th Euromicro Conference (New Waves in System Architecture, EUROMICRO'03). 2003.
- Herbsleb1996 Herbsleb, J.D.; Goldenson, D.R.; "A Systematic Survey of CMM Experience and Results" IEEE Proceedings of ICSE-18. 1996.
- Hertz1979 Hertz, D.B.; "Risk Analysis in Capital Investment" Harvard Business Review, N79504. 1979.
- Hoare1984 Hoare, C.A.R.; "Programming: Sorcery or Science?" IEEE Software, V1N2 pp.5-16. 1984.
- Humphrey1989a Humphrey, W.S.; "Managing the software process" Addison-Wesley Longman Publishing Co. 1989. ISBN:0201180952.
- Humphrey1989b Humphrey, W.S.; Kellner, M.I.; "Software Process Modeling: Principles of Entity Process Models" Work sponsored by US DoD ACM. 1989.
- Humphrey1995 Humphrey, W.S.; "A Discipline for Software Engineering" Addison-Wesley Longman Publishing Co. 1995. ISBN:0201546108.
- Hyde2004 Hyde, K.; Wilson, D.; "Intangible benefits of CMM-based software process improvement" Software Process: Improvement and Practice, V9N4 pp.217-228. 2004.
- Iansiti2003 Iansiti, M.; "Technology Integration: Making Critical Choices in a Dynamic World" Harvard Business School Press, Boston. 2003.
- IDEF0 IDEF0 "Integration Definition for Function Modeling" Federal Information Processing Standards Publication 183. 1993.
- Illyas2003 Illyias, F.; Malik, R.; "Adhering To CMM Level2 in Medium Size Software Organizations in Pakistan" Proceedings IEEE INMIC, pp.434-439. 2003.
- Ishikawa1986 Ishikawa, K.; "Guide to Quality Control" Asian Productivity Organization, 2nd edition. 1986. ISBN:9283310357.
- Jakobsen2008 Jakobsen, C.R.; Johnson, K.A.; "Mature Agile with a twist of CMMI" Agile, pp.212-217. 2008.
- Jeletic1996 Jeletic, K.; Pajerski, R.; Brown, C.; "Software Process Improvement Guidebook" Greenbelt Maryland Goddard Space Flight Center, Rev1 pp.95-102. 1996.
- Jones1994 Jones, C.; "Assessment and Control of Software Risks" Yourdon Press. 1994. ISBN:0137414064.
- Jones1995 Jones, C.; "Patterns of Large Software Systems: Failure and Success" Computer V28N3 pp.86-87. 1995. [doi:10.1109/2.366170].

Jones1996	Jones, C.; "The Pragmatics of Software Process Improvements" Software Process Newsletter of the Software Engineering Technical Council Newsletter N5, pp.1-4. 1996.
Ju2001	Ju, D.; "China's budding software industry" IEEE Software, pp.92-95. 2001.
Jung2008	Jung, H.;Goldenson, D.R. "Evaluating the relationship between process improvement and schedule deviation in software maintenance" Information and Software Technology 2008 in press
Juran1964	Juran, J.M. "Managerial breakthrough, a new concept of the manager's job" McGraw-Hill 1964.
Juran1990	Juran, J.M. "Juran y la Planificación para la Calidad." 1990. Diaz de Santos. España.
Juran1992	Juran, J.M. "Juran on quality by design, the new steps for planning quality into goods and services" New York, Free Press
Juran1995	Juran, J.M "Análisis y Planeación de la Calidad."; Gryna, F.M. 1995. McGraw Hill. Mexico
Kahkonen2004	Kähkönen T. Abrahamsson P. "Achieving CMMI Level 2 with Enhanced Extreme Programming Approach" F. Bomarius and H. Iida (Eds.): PROFES 2004, LNCS 3009, pp. 378-392, 2004.
Kaplan1996	Kaplan R.S. , Norton D.P. The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action"" ISBN 0875846513 Harvard Business School Press 1996"
Karlsson1995	Karlsson E. Software Reuse: A Holistic approach" ISBN: 0471954896 John Wiley & Sons
Kasunic2005	Kasunic, M. Designing an Effective Survey. CMU/SEI-2005-HB-004 Sep. 2005.
Katz1978	Katz, D.;Kahn, R.L. "The social psychology of organizations", 2 nd Edition New York Wiley and Sons ISBN: 0471023558.
Kautz2000a	Kautz, K.; Larsen, E.A.; "Diffusion theory and practice: Dissemination quality management and software process improvement innovations" Information Technology & People, V13N1 pp.11-26. 2000
Kautz2000b	Kautz K.; Hansen, H.W.; Thaysen, K.; "Applying and Adjusting a Software Process Improvement Model in Practice: The Use of the IDEAL Model in a Small Software Enterprise" ICSE 2000 Limerick Ireland, pp.626-633. 2000.
Keeni2000	Keeni, G.; "The Evolution of Quality Processes at Tata Consultancy Services" IEEE SOFTWARE, pp.79-88. 2000.
Keil2006	Keil, P.; Kuhrmann, M.; "An Approach to Model the Return on Investment of Organization-Wide Improvement Projects using the Concept of External Effects" EDSER'06, Shanghai, China. 2006.
Kellner1999	Kellner, M.; Madachy, R.; Raffo, D.; "Software Process Modeling and Simulation: Why, What, How" Journal of Systems and Software, V46N2/3 pp.91-105. 1999.
Kelly1970	Kelly, T.J.; "The Dynamics of R & D Project Management" Unpublished M.S. Thesis, M.I.T., Sloan School of Management, Cambridge, MA, 1970.
Kish1995	Kish, L.; "Survey Sampling". New York, NY. John Wiley and Sons. 1995.
Kitchenham2002	Kitchenham, B.; Pfleeger, S.L.; Pickard, L.M.; Jones, P.W.; Hoaglin, D.C.; ElEmam, K.; Rosenberg, J.; "Preliminary Guidelines for Empirical Research in Software Engineering" IEEE Transactions on Software Engineering, V28N8 pp.721-733. 2002.
Kitchenham2007	Kitchenham, B.; Jeffery, D.R.; Connaughton, C.; "Misleading Metrics and Unsound Analyses" IEEE Software, pp.73-78. 2007.
Knox1993	Knox, S.T.; "Modeling the Cost of Software Quality" Digital Technical Journal, V5N4 pp.9-16. 1993.
Koc2007	Koc, T.; "Organizational determinants of innovation capacity in software companies" Elsevier Computers & Industrial Engineering 53, pp.373-385. 2007.
Konrad2003	Konrad, M.; et al; "CMMI or Agile: Why Not Embrace Both!" SEI Technical note CMU/SEI-2008-TN-003. 2003.
Krishnan1999	Krishnan, M.S; Kellner, M.I.; "Measuring Process Consistency: Implications for Reducing Software Defects" IEEE Transactions on Software Engineering, V25N6 pp.800-815. 1999. [doi:10.1109/32.824401]
Kruchten2003	Kruchten, P.; "The Rational Unified Process: An Introduction" 3rd Edition, Addison-Wesley. 2003. ISBN:0321197704.
Kuvaja1994	Kuvaja, P.; Simila, J.; Krzanik, L.; Bicego, A.; Soukkonen, S.; Koch, G.; "Software Process Assessment and Improvement" The BOOTSTRAP Approach. 1994.
Lant1992	Lant, T.K.; Mezias, S.J.; "An organizational learning model of convergence and reorientation" Organization Science, V3N1 pp.47-71. 1992.
Laporte2005	Laporte, C.Y.; April, A.; "Applying Software Engineering Standards in Small Settings: Recent historical perspectives and initial achievements" International Research Workshop for Process Improvement in Small Settings, Software Engineering Institute, Pittsburgh. 2005.
Lawlis1995	Lawlis, P.K.; Flowe, R.M.; Thordahl, J.B.; "A Correlational Study of the CMM and Software Development Performance" Crosstalk, pp.21-25. 1995.

- Lehman1989 Lehman, M.M.; "Uncertainty in Computer Applications and its Control through the Engineering of Software" Software Maintenance Research and Practice, V1N1 pp.3-27. 1989.
- Leifer2001 Leifer, R.; McDermott, C.M.; O'Connor, G.C.; Peters, L.S.; Veryzer, R.W.; "Radical innovation, how mature companies can outsmart upstarts" Boston, Massachusetts. Harvard Business School Press. 2001.
- Leonard-Barton1995 Leonard-Barton, D.; "Wellsprings of Knowledge: Building and Sustaining the sources of Innovation" Boston: Harvard Business School Press. 1995.
- Li2001 Li, C.; Li, H.; Li, M.; "A Software Factory Model based on ISO9000 and CMMI for Chinese Small Organizations" IEEE. 2001.
- Lin1992 Lin, C.; Abdel-Hamid, T.; Sherif, J.; "Software engineering process simulation model" TDA Progress Report 42-108 Jet Propulsion Laboratories. 1992.
- Lin1993 Lin C.Y.; "Walking on battlefields: Tools for strategic software management" American Programmer, pp.33-40. 1993.
- Madachy1994 Madachy, R.A.; "software project dynamics model for process cost, schedule and risk assessment" PhD dissertation. Department of Industrial and Systems Engineering USC. 1994.
- Madachy1995 Madachy, R.; "System Dynamics on COCOMO and Software Cost Modeling Paradigms" Proceedings of the 10th International Forum on COCOMO and Software Cost Modelling, SEI, Pittsburgh, PA. 1995.
- Madachy1996 Madachy, R.J.; "System Dynamics Modeling of an Inspection-Based Process" Proceedings of the Eighteenth International Conference on Software Engineering, Berlin, Germany. 1996.
- Madachy1997 Madachy, R.; "Software Process Modeling with System Dynamics" IEEE Computer Society Press, Washington, D.C. 1997.
- Madachy1999 Madachy, R.; "Cost/Schedule/Process Modeling via System Dynamics" 14th International Forum on COCOMO and Software Cost Modeling. 1999.
- Madhavji1991 Madhavji, N.H.; "The Process Cycle" Software Engineering Journal, V6N5 pp.234-242. 1991.
- Maller2004 Maller, P.; Ochoa, C.; Silva, J.; "Lightening the Software Production Process in a CMM Level 5 Framework" Latin America Transactions, IEEE, V3N1 pp.15-22. 2004.
- Matsubara2001 Matsubara, T.; "Japan: A Huge IT Consumption Market" IEEE SOFTWARE, pp.77-80. 2001.
- March1999 March, J.G.; "The pursuit of organizational intelligence" Malden, Massachusetts, Blackwell. 1999.
- McCall 1977 McCall, J.A.; Richards, P.K.; Walters, G.F.; "Factors in Software Quality" National Technology Information Service, V1,2, 3. 1977.
- McFall2003 McFall, D.; Wilkie, F.G.; McCaffery, F.; Lester, N.G.; Sterritt, R.; "Software processes and process improvement in Northern Ireland" 16th International Conference on Software & Systems Engineering and their Applications, Paris, France, V5-Secc22. 2003. ISSN:1637-5033.
- McFeeley1996 McFeeley, B.; "IDEAL: A User's Guide for Software Process Improvement" Handbook CMU/SEI-96-HB-01 Carnegie Mellon University SEI. 1996.
- McGarry1998 McGarry, J.; "Practical Software Measurement: A Foundation for Objective Project Management" Version 3.1a Office of the Under-Secretary of Defense for Acquisition and Technology. Joint Logistics Commanders Joint Group on Systems Engineering. 1998.
- McGarry2002 McGarry F.; Decker, B.; "Attaining Level 5 in CMM Process Maturity" IEEE Software pp.87-96. 2002.
- McGibbon1996 McGibbon, T.; "A Business Case for Software Process Improvement" Contract Number F30602-92-C-0158, Data and Analysis Center for Software, Kaman Sciences Corp., Utica, N.Y. 1996.
- McGuire2001 McGuire, E.; McKeown, K.; "5 Critical Steps for Adopting CMMI in an ISO Environment" IEEE. PICMET. 2001.
- McLain2001 McLain, J.; "Impact of CMM Based Process Improvement" (Thesis) Hawaii Pacific University MSIS. 2001.
- Miller1997 Miller, J.; Daly, J.; Wood, M.; Roper, M.; Brooks, A.; "Statistical power and its subcomponents, missing and misunderstood concepts in empirical software engineering research" Information and Software Technology, V39N4 pp.285-295. 1997.
- Miller2002 Miller, M.J.; Vidal, F.P.; Ferrin, D.M.; "Achieving higher levels of CMMI maturity using simulation" Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference, pp.1473-1478. 2002.
- Moitra2001 Moitra, D.; "India's Software Industry" IEEE Software, pp.77-80. 2001.
- Montangero1999 Montangero, C.; "Software Process: Principles, Methodology and Technology" LNCS, V1500. Berlin Springer-Verlag, pp.1-13. 1999.
- Morgado2007 Morgado, G.P.; Gesser, I.; Silveira, D.S.; Manso, F.S.P.; Lima, P.M.V.; Schmitz, E.A.;

- “Práticas do CMMI como regras de negócio” Produção, V17N2 pp.383-394. 2007.
- Murugappan2003 Murugappan, M.; Keeni, G.; “Blending CMMI and SIC Sigma to meet Business Goals” (TCS) IEEE Software. 2003.
- Na2007 Na, K.; Simpson, J.T.; Li, X.B.; et al; “Software development risk and project performance measurement: Evidence in Korea” The Journal of Systems and Software 80, pp.596-605. 2007.
- Naur1969 Naur, P.; Randell, B.; “Software Engineering, Proceedings of the NATO Conference in Garmisch-Partenkircher” NATO Science Committee, Scientific Affairs Division, NATO, Brussels. 1969.
- Nay1965 Nay, J.N.; “Choice and Allocation in Multiple Markets: A Research and Development Systems Analysis” M.S. Thesis, M.I.T., Dept. of Electrical Engineering, Cambridge, MA. 1965.
- Naylor1967 Naylor, T.H.; Finger, J.M.; “Verification of Computer Simulation Models” Management Science, V14N2 pp.B92-B101. 1967.
- Neuman2000 Neuman, W.L.; “Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches” 4th Edition Allyn and Bacon. 2000.
- Niazi2005 Niazi, M.; Wilson, D.; Zowghi, D.; “A maturity model for the implementation of software process improvement: an empirical study” The Journal of Systems and Software, V74N2. 2005. ISSN:0164-1212.
- Nonaka1995 Nonaka, I.; Takeuchi, H.; “The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation” New York: Oxford University Press. 1995.
- Olson1989 Olson, T.; Humphrey, W.S.; Kitson, D.; “Conducting SEI-assisted Software Process Assessments” Technical Report CMU/SEI-89-TR-07 Carnegie Mellon University SEI. 1989.
- Otoya1999 Otoya, S.; Cerpa, N.; “An Experience: A small software company attempting to improve its process” IEEE. 1999.
- Ould1993 Ould, M.A.; “Process Modeling with RADs” IOPener, V12N1. 1993.
- Ould1996 Ould, M.A.; “CMM and ISO 9001” Software Process Improvement and Practice, V2 pp.281-289. 1996.
- Park1996 Park, R.E.; Goethert, W.B.; Florac, W.A.; “Goal-Driven Software Measurement-A Guidebook” Handbook CMU/SEI-96-HB-002. Carnegie-Mellon University SEI. 1996.
- Parnas1986 Parnas, D.L.; Clements, P.C.; “A Rational Design Process: How and Why to Fake It” IEEE Transactions on Software Engineering, V12N2 pp.251-257. 1986.
- Parr1980 Parr, F.N.; “An Alternative to the Rayleigh Curve Model for Software Development Effort” IEEE Transactions on Software Engineering, pp.291-296. 1980.
- Paulik1995 Paulik, M.C.; Weber, C.W.; Curtis, B.; Chrissis, M.B.; “Capability Maturity Model: Guidelines for Improving the Software Process” Carnegie-Mellon University, SEI. 1995.
- Paulisch2008 Paulisch, F.; Ebert, C.; “Business Impact of Process Improvements Workshop” ICSE'08, Leipzig, Germany. 2008.
- Peterson1995 Peterson, B.; “Software Engineering Institute Software Process Improvement and Practice” Pilot Issue. John Wiley & Sons. 1995.
- Pino2006 Pino, F.; Garcia, F.; Piattini, M.; “Revisión sistemática de mejora de procesos en micro, pequeñas y medianas empresas” Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería de Software, V2N1 pp.6-23. 2006.
- PMBoK Project Management Institute (PMI); “A Guide to the Project Management Body of Knowledge” Project Management Institute, 4th Edition. 2008. ISBN:1933890517.
- Popper1959 Popper, K.R.; “The logic of scientific discovery” London Hutchinson. 1959. ISBN:0415278449.
- Potts1993 Potts, C.; “Software-Engineering Research Revisited” IEEE Software, V10N5 pp.19-28. 1993.
- Powell1995 Powell, T.C.; “Total Quality Management as Competitive Advantage: A Review and Empirical Study” Strategic Management Journal, V16N1 pp.15-37. 1995.
- Pressman1988 Pressman, R.S.; “Making Software Engineering Happen: A guide for Instituting the Technology” Prentice Hall. 1988.
- Pulford1996 Pulford, K.; Kuntzmann-Combelles, A.; Shirlaw, S.; “A Quantitative Approach to Software Management: The AMI handbook”. Addison-Wesley. 1996. ISBN:0201877465.
- Putnam1978 Putnam, L.H.; “General Empirical Solution to the Macro Software Sizing and Estimating Problem” IEEE Transactions on Software Engineering, pp.345-361. 1978.
- Putnam1992 Putnam, L.H.; Meyer, W.; “Measures for Excellence: Reliable Software on Time within Budget” Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1992.
- Raffo1999a Raffo, D.M.; Harrison, W.; Settle, J.; Eickelmann, N; “Adapting Financial Measures: Making a Business Case for Software Process Improvement” Software Quality Journal,

- V8N3 pp.211-231. 1999.
- Raffo1999b Raffo, D.M.; Harrison, W.; "Moving Toward CMM Levels 4 and 5: Combining Models and Metrics to Achieve Quantitative Process Management" Proceedings of the America's Conference on Information Systems (AMCIS), Held in Long Beach, CA.. 1999.
- Raffo2000a Raffo, D.M.; Harrison, W.; Settle, J.; Eickelmann, N.; "Understanding the Role of Defect Potential in Assessing the Economic Value of Process Improvement" Proceedings of the Workshop on Economics Driven Software Engineering Research, International Conference on Software Engineering, Limerick, Ireland. 2000.
- Raffo2000b Raffo, D.M.; Martin, R.H.; "A Model of the Software Development Process Using Both Continuous and Discrete Models" Software Process: Improvement and Practice, V5N2/3 pp.147-157. 2000.
- Raffo2000c Raffo, D.M.; Harrison, W.; Vandeville, J.; "Coordinating Models and Metrics to Manage Software Projects" Software Process Improvement and Practice, V5N2/3 pp.159-168. 2000.
- Raffo2000d Raffo, D.M.; Kellner, M.I.; "Empirical Analysis in Software Process Simulation Modeling" Journal of Systems and Software, V53N1 pp.31-41. 2000.
- Raffo2001 Raffo, D.M.; Martin, R.H.; "Application of a Hybrid Process Simulation Model to a Software Development Project" Journal of Systems and Software, V59N3 pp.237-246. 2001.
- Raffo2009 Raffo, D.M.; "Putting Process Performance Models to Work: NASA Example Class, Discrete Event Simulation" 3rd Workshop High Maturity Measurements and Analysis, SEI, San Diego. 2009.
- Rettig1993 Rettig, M.; Simons, G.; "A Project Planning and Development Process for Small Teams" Communications of the ACM, V36N10 pp.45-55. 1993.
- Richardson1981 Richardson, G.P.; Pugh III, A.L.; "Introduction to System Dynamics Modeling with DYNAO" The M.I.T. Press, Cambridge, MA, 19. 1981. ISBN:1883823439.
- Richardson1982 Richardson, G.P.; "Sources of Rising Product Development Times" Technical Report D-3321-1, SD Group, Cambridge, MA, M.I.T., 1. 1982.
- Richardson2007 Richardson, I.; Von Wangenheim, G.C.; "Why Are Small Software Organizations Different?" IEEE Software, pp.18-22. 2007.
- Rico2000 Rico, D.F.; "Practical Metrics and Models for Return on Investment"
- Rifkin2002 Rifkin, S.; "Is Process Improvement Irrelevant to Produce New Era Software?" Proc. Software Quality: Quality Connection (ECSQ 02), Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, LNCS 2349, pp.13-16. 2002.
- Roberts1964 Roberts, E.B.; "The Dynamics of Research and Development" Published Ph.D. dissertation, M.I.T., Cambridge, MA. 1964.
- Roberts1981 Roberts, E.B.; "A Simple Model of R & D Project Dynamics" Managerial Applications of System Dynamics, Edited by Edward B. Roberts, The M.I.T. Press, Cambridge, MA. 1981.
- Rout2007 Rout, T.P.; Tuffley A.; "Harmonizing ISO-IEC 15504 and CMMI" V12 I4 pp361-371. 2007.
- Royce1970 Royce, W.W.; "Managing the Development of Large Software Systems: Concepts and Techniques" Proceedings of the IEEE WESCON Los Angeles, pp.1-9. 1970.
- Rubin1995 Rubin, H.A.; Johnson, M.; Yourdon, E.; "SOFTWARE PROCESS FLIGHT SIMULATION Dynamic Modeling Tools and Metrics" Information Systems Management. 1995.
- Rubio2006 Rubio, D. M.; "Un proceso definido para la planeación temprana de proyectos de Software" Tesis de Maestría UNLP Facultad de Informática Universidad Nacional de La Plata, Argentina. 2006.
- Ruiz2001 Ruiz, M.; Ramos, I.; Toro, M.; "A simplified model of software project dynamics" Journal of Systems and Software, V59N3 pp.299-309. 2001.
- Ruiz2005a Ruiz, M.; Ramos, I.; Toro, M.; "An integrated framework for simulation-based Software Process Improvement" Software Process: Improvement and Practice, V10N3 pp.355. 2005.
- Ruiz2005b Ruiz, M.; Ramos, I.; "Estimación del Coste de la Calidad del Software a través de la Simulación del Proceso de Desarrollo" Revista Colombiana de Computación, V2N1 pp.75-87 2005.
- RuizdeMendarozqueta 2005 Ruizdemendarozqueta, A.; "Experiencias en el camino hacia CMM nivel 5" ASSE'2005 34 JAIIO, Rosario, Argentina. 2005.
- RuizdeMendarozqueta 2007 Ruizdemendarozqueta, A.; Rubio, D.M.; "Integración de CMMI nivel 5 ISO9001 y Seis Sigma en el Sistema de Gestión de la Calidad de Motorota" CESSI-UADE. 2007.
- Rus1998 Rus, I.; "Modelling the impact on cost and schedule of software quality engineering practices" Phd Thesis, Arizona State University, Tempe. 1998.
- Saedian1995 Saedian, H.; Kuzara, R.; "SEI Capability Maturity Model's Impact on Contractors" IEEE Computer. 1995.
- Santos2007 Santos, G.; Montoni, M.; Vasconcellos, J.; Figueiredo, S.; Cabral, S.; Cerdeiral, C.;

- Katsurayama, A.E.; Lupo, P.; Zanetti, D.; Rocha, A.R.; "Implementing Software Process Improvement Initiatives in Small and Medium-Size Enterprises in Brazil" Sixth International Conference on the Quality of Information and Communications Techno, pp.187-196. 2007.
- Saraph1989 Saraph, J.V.; Benson, P.G.; Schroeder, R.G.; "An Instrument for Measuring the Critical Factors of Quality Management" Decision Sciences, V20N4 pp.810-829. 1989.
- Sargent1982 Sargent, R.G.; "Verification and Validation of Simulation Models Chapter IX in Progress in Modelling and Simulation" Academic Press London, pp.159-169. 1982.
- Sargent1984 Sargent, R.G.; "Simulation and Model based Methodologies: An Integrative View" ed Oren. Springer-Verlag. 1984.
- Sargent1998 Sargent, R.G.; "Verification and Validation of Simulation Models" Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference. 1998.
- Schlesinger1979 Schlesinger, S.; "Terminology for Model Credibility" Simulation, V32N3 pp.103-104. 1979.
- Schwaber2001 Schwaber, K.; Beedle, M.; "Agile Software Development with Scrum" Prentice-Hall. 2001. ISBN:0130676349
- SEI2005 <http://www.sei.cmu.edu/cmmi/2005results.html>.
- SEI2006 Process Maturity Profile, CMMI® v1.1 SCAMPI v1.1 Class A Appraisal Results, 2006 Mid-Year update, 2006 Carnegie Mellon University.
- SEI2009 CMMI Team; "CMMI for Services Version 1.2" Technical Report CMU/SEI-2009-TR001
- Sekaran1992 Sekaran, U.; "Research methods for business, a skill building approach" John Wiley & Sons. 1992.
- Seltzer1998 Seltzer, D.; Mellis, W.; "Success Factors of Organizational Change in Software Process Improvement" Software Process Improvement and Practice, V4 I4 pp.227-250. 1998.
- Senge1990 Senge, P.; "The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization" New York DoubleDay Press. 1990. ISBN:0385260954.
- Setamanit2007 Setamanit, S.; Wakeland, W.; Raffo, D.; "Using Simulation to Evaluate Global Software Development Task Allocation Strategies" Software Process Improvement and Practice, V12N5 pp.491-503. 2007.
- Shannon1975 Shannon, R.E.; "System Simulation: The Art and the Science" Prentice-Hall. 1975.
- Siakas2002 Siakas, K.V.; "What has Culture to do with SPI?" Proceedings of the 28 th Euromicro Conference, EUROMICRO'02. 2002.
- Slaughter1999 Slaughter, S.; Banker, R.; "The Economics of Software Quality. First Workshop on Economic driven Software Engineering Research. 1999.
- Smith1993 Smith, B.J.; Nguyen, N.; Vidale, R.F.; "Death of a software manager: How to avoid career suicide through Dynamic Software Process modeling" American Programmer, pp.10-17. 1993.
- Sommerville1997 Sommerville, I.; Sawyer, P.; "Requirements Engineering: A Good Practice Guide" John Wiley & Sons. 1997. ISBN:0471974447.
- Sotirovski2001 Sotirovski, D.; "Heuristics for Iterative Software Development" IEEE Software, V18N3 pp.66-73. 2001.
- Staples2007 Staples, M.; Niazi, M.; Jeffery, R.; Abrahams, A.; Byatt, P.; Murphy, R.; "An exploratory study of why organizations do not adopt CMMI" Elsevier The Journal of Systems and Software 80, pp.883-895. 2007.
- Staples2008 Staples, M.; Niazi, M.; "Systematic Review of Organizational Motivations for Adopting CMM-based SPI" Information and Software Technology, V50 I7-8 p.605-620. 2008. ISSN:09505849.
- Stapleton1997 Stapleton, J.; Constable, P.; "DSDM: Dynamic Systems Development Method: The method in practice" Adison-Wesley. 1997. ISBN:0201178893.
- Stark1994 Stark G.; Durst, R.C.; Vowell, C.W.; "Using Metrics in Management Decision Making" Computer, pp.42-48. 1994.
- Statz2002 Statz, J.; Solon, R.; "ROI for SPI. TeraQuest, NDIA/SEI CMMI Presentation" Proceedings 2nd Annual CMMI Technology Conference and User Group. 2002.
- Sutherland2007 Sutherland, J.; Jakobsen, C.; Ruseng J.K.; "Scrum and CMMI Level 5: The Magic Potion for Code Warriors" Agile, IEEE Computer Society, pp.272-278. 2007.
- Sutton2003 Sutton, R.S.; Barto, A.G.; "Reinforcement Learning: An Introduction" Bradford Book The MIT Press Cambridge, Massachusetts. 2003.
- Taguchi1986 Taguchi, G.; "Introduction to Quality Engineering: Designing Quality into Products and Processes" Quality Resources. 1986. ISBN:9283310845.
- Tichy1995 Tichy, W.F.; Lukowicz, P.; Prechelt, L.; Heinz, E.A.; "Experimental Evaluation in Computer Science: A Quantitative Study" Journal of Systems and Software, V28N1 pp.9-18. 1995.
- Tichy1998 Tichy, W.F.; "Should Computer Scientist Experiment More?" IEEE Computer, V31N5 pp.32-39. 1998.
- Tingey1996 Tingey, M.O.; "Comparing ISO-9000, Malcom Baldrige and the SEI CMM for Software"

- Prentice-Hall. 1996.
- Trienekens2007 Trienekens, J.J.M.; Kusters, R.J.; Van Genuchten, M.J.I.M.; Aerts, H.; "Targets, drivers and metrics in software process improvement: Results of a survey in a multinational organization" *Software Qual*, pp.135-153. 2007.
- Turner2002 Turner, R.; Apurva, J.; "Agile Meets CMMI: Culture Clash or Common Cause?" *XP/Agile Universe 2002*, Springer-Verlag LNCS 2418, pp.153-165. 2002.
- Tushman1985 Tushman, M.L.; Romanelli, E.; "Organizational evolution: A metamorphosis model of convergence and reorientation" *Research in Organizational Behaviour V7* JAI Press, pp.171-222.
- Tvedt1995 Tvedt, J.; Collofello, J.; "Evaluating the effectiveness of Process Improvements on Software Development Cycle Time and a Systems Dynamics Modelling" *Computer Software and Applications Conference, CompSAC'95*. 1995.
- VanGroenendaal1997 Van Groenendaal, W.J.H.; Kleijnen, J.P.C.; "On the Assessment of economic risk: factorial design vs. Monte Carlo methods" *Reliability Engineering and System Safety*, N57 pp.91-102. 1997.
- VanSolingen2004 Van Solingen, R.; "Measuring the ROI of Software Process Improvement" *IEEE Software* pp.32-38. 2004.
- VonWangenheim2006 Von Wangenheim, C.G.; Anacleto, A.; Salviano, C.F.; "Helping small companies assess software processes" *IEEE Software*, pp.91-98. 2006.
- Wakeland2005 Wakeland, W.; Hoarfrost, M.; "The case for thoroughly testing complex system dynamics models" *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*, Boston. 2005.
- Walden2002 Walden, D.; "Overview of a Business Case: CMMI Process Improvement. NDIA/SEI CMMI Presentation" *Proceedings 2nd Annual CMMI Technology Conference and User Group*. 2002.
- Wood1986 Wood, D.O.; "MIT Model Analysis Program: What We have learned About Policy Model Review" *Proceedings of the 1986 Winter Simulation Conference* Washington DC, pp.248-252. 1986.
- Wu2006 Wu, Z.; Christensen, D.; Li, M.; Wang, Q.; "A Survey of CMM/CMMI Implementation in China" *LNCS V3840*. 2006. ISSN: 03029743.
- Yamane1967 Yamane, T.; "Statistics: An introductory analysis" 2nd Ed. New York, NY. Harper and Row. 1967. ISBN:0060473215.
- Yusof1999 Yusof, S.M.; Aspinwall, E.; "Critical Success Factors for Total Quality Management Implementation Implementation in Small and Medium Enterprises" *Total Quality Management*, V10N4-5 pp.803-809. 1999.
- Zahran1996 Zahran, S.; "Business and Cost Justification of Software Process Improvement" *ROI from SPI. International Software Process Association Conference*. 1996.
- Zahran1998 Zahran, S.; "Software Process Improvement: Practical Guidelines for Business Success" *Addison-Wesley*. 1998. ISBN:020117782X
- Ziman2000 Ziman, J.M.; "Technological innovation as an evolutionary process" *Cambridge University Press*. 2000.
- Zelkowitz1998 Zelkowitz, M.V.; Wallace, D.R.; "Experimental Models for Validating Technology" *IEEE Computer*, V31N5 pp.23-31. 1998.
- Zhang1995 Zhang, W.; Dietterich, T.G.; "A Reinforcement Learning Approach to Job-Shop Scheduling" *Proc. of the 14th IJCAI*. Montreal, Canada, pp.1114-1120. 1995.
- Zhang2000 Zhang, W.; Dietterich, T.G.; "Solving Combinatorial Optimization Tasks by Reinforcement Learning: A general methodology applied to Resource-Constrained Scheduling" *Journal of Artificial Intelligence Research*. 2000.

Glosario

2 sample t-test

Un t-test es un test de hipótesis estadística en el cual se asume que la muestra sigue a una distribución de t de Student.

Activo subyacente

Activo o bien sobre el cual se calculan instrumentos financieros derivados.

Actual Cost of Work Performed (ACWP) Costo Actual del Trabajo Realizado

El total de costos incurridos para lograr el trabajo realizado durante un período de tiempo dado. Total costs actually incurred and recorded in accomplishing work performed during a given time period for a schedule activity or work breakdown structure component. El costo actual puede estar representado solamente por las horas directas de trabajo, solamente por los costos directos, o por todos los costos incluyendo los indirectos.

ACWP

Ver Actual Cost of Work Performed.

Adaptativo

En un sistema o modelo que adapta su función de transferencia a el (los) valor(es) de la(s) entrada(s).

Add-In

Función, librería o módulo, normalmente externo, que se agrega a un paquete de software para incrementar sus prestaciones. En algunos casos es producido por el mismo proveedor del paquete y otras ocasiones por terceras partes mediante la utilización de facilidades interfaces claramente documentadas o API (Application Program Interface)

Análisis de sensibilidad

Análisis realizado en un modelo cuando se produce la variación de una variable, dejando estáticas todas las restantes si las hubiera, y se analiza el comportamiento que produce esta variación en el resultado del modelo.

Anderson-Darling, Test de.

Es un test estadístico que analiza si hay evidencia que una muestra de datos dada ha surgido de una determinada distribución de probabilidad o no. En su forma básica, el test asume que no hay parámetros a ser estimados en la distribución bajo estudio, en cuyo caso el test y su conjunto de valores críticos están libres de distribución.

Anualidad

Flujo financiero perpetuo derivado de un capital inicial a una tasa de interés dada.

Apalanca

Que realiza apalancamiento, ver Apalancamiento Financiero.

Apalancamiento financiero

Valor creado a partir de flujos de fondos derivados de consideraciones financieras.

Aprendizaje por refuerzos

El aprendizaje por refuerzos es un área de la disciplina de Inteligencia Artificial que aborda el aprendizaje de máquinas. Para hacerlo se modelan los problemas como un agente que toma acciones en un ambiente buscando maximizar una función de utilidad de largo plazo. Los algoritmos de aprendizaje por refuerzos intentan encontrar una política que asigne estados del problema con las acciones que el agente debe tomar en esos estados. La solución se considera una interpretación racional del equilibrio del sistema.

ARC

Ver Requerimientos de Evaluación para CMMI

BCWP

Ver Costo Presupuestado del Trabajo Realizado

BCWS

Ver Costo Presupuestado del Trabajo Programado/Previsto

Best practices

Ver Mejores prácticas.

Big Y

Ver Gran Y.

Binomial, Modelo

El modelo de valuación de opciones denominado binomial (BOPM por sus siglas en inglés binomial options pricing model) provee un marco general para establecer el valor de opciones. EL modelo fue propuesto por Cox, Roxx y Rubinstein en 1979. En esencia el modelo liga las variaciones en el tiempo de un activo real o financiero subyacente con el de opciones de compra o venta sobre el mismo.

Black-Scholes, Modelo de

El término Black-Scholes refiere a tres conceptos relacionados; un modelo matemático para establecer el precio de mercado de una posición que varía estocásticamente, es una ecuación diferencial contenida en el modelo y es la solución para el caso específico de una opción call Europea. El modelo fue presentado en 1973 en el paper "The Pricing of Options and Corporate Liabilities.". La principal conclusión del modelo es que los mercados valúan la opción en forma implícita cuando esta es públicamente negociada. Sus autores, Merton y Scholes, recibieron el premio Nobel de Economía en 1997; Black no pudo recibirlo pues falleció en 1995.

Boxplot

Es una manera práctica de representar gráficamente grupos de datos numéricos mediante sus cinco valores más importantes (la observación más pequeña o muestra mínima, el cuartil inferior o Q1, el cuartil mediano o Q2, el cuartil superior o Q3, y la observación más grande o muestra máxima). Un boxplot puede también indicar qué observaciones, en caso de haberlas, podrían ser consideradas outliers. Por otra parte, pueden ser útiles para exponer las diferencias entre poblaciones sin hacer suposiciones respecto a la distribución estadística subyacente, ya que son no-paramétricos. Los espacios entre las diferentes partes de la caja indican el grado de dispersión y sesgado de los datos, y ayudan a identificar outliers. Los boxplots pueden ser realizados tanto horizontal como verticalmente.

Caja negra

Técnica en estudio de sistemas donde determinados aspectos del ambiente se estudian en función de sus entradas y salidas pero sin conocer ni utilizar en forma explícita sus funciones internas de transferencia.

Calibración

Proceso de determinación de los coeficientes de un modelo para ajustarlo al comportamiento empírico.

Cámara de Empresas de Software y Servicios de Información de Argentina.

Entidad argentina <http://www.cessi.org.ar>

Camino crítico, Método

El método de camino crítico o análisis de camino crítico, es un algoritmo matemático para la calendarización de un conjunto de actividades relacionadas en forma tal que la duración del proyecto sea la mínima para el conjunto de condiciones de dependencia establecidos.

CAPM, Modelo de Valoración del Activo de Capital

Modelo usado para determinar la tasa de retorno, teóricamente apropiada, requerida por un activo, si el mismo ha de ser adicionado a un portafolio ya bien diversificado, dado el riesgo no diversificable de ese activo. El modelo tiene en cuenta la sensibilidad del mismo a un riesgo no diversificable (también conocido como riesgo sistemático o riesgo de Mercado), frecuentemente representado por una cantidad beta (β) en la industria financiera, así como el retorno esperado del Mercado y el retorno esperado de un activo teóricamente libre de riesgo. El modelo fue introducido independientemente por Jack Treynor (1961, 1962), William Sharpe, John Lintner y Jan Mossin, quienes se basaron en el trabajo previo de Harry Markowitz sobre la teoría de diversificación y portafolio moderno. Sharpe, Markowitz y Merton Miller recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Economía por su contribución al campo de la economía financiera.

Causal loops

Ver Lazos causales.

CESSI

Ver Cámara de Empresas de Software y Servicios de Información de Argentina.

Chi-Cuadrado

Es una de las distribuciones de probabilidad más extensamente utilizadas en estadística inferencial, como por ejemplo en tests de significancia estadística. Es útil ya que, bajo supuestos razonables, permite probar que cantidades fácilmente calculables tienen distribuciones aproximadas a la distribución de chi-cuadrado si la hipótesis nula es cierta.

Las situaciones mejor conocidas en las cuales se utiliza la distribución de chi-cuadrado son los test de chi-cuadrado de concordancia de una distribución observada a una teórica, y de la independencia de dos criterios de clasificación de datos cualitativos. Muchos otros tests estadísticos también conducen al uso de esta distribución, como el análisis de varianza por categorías de Friedman.

Chi-Square

Ver Chi-Cuadrado.

Ciclo de entregas

Tiempo requerido para entregar un desarrollo de software, teniendo en cuenta todas las etapas del ciclo de vida utilizado.

Ciclo de implementación

Tiempo requerido para implementar las acciones destinadas a realizar una mejora de proceso.

Ciclo de trabajo

Ver ciclo de entregas.

Clima laboral

Conjunto de factores que contribuyen o deterioran las relaciones interpersonales en un ambiente de trabajo.

CMM, Modelo de Madurez de Capacidades

Modelo de madurez de capacidades (SW-CMM) patrocinado por la Universidad de Carnegie-Mellon Software Engineering Institute (www.sei.cmu.edu), que ha sido reemplazado por el Capability Maturity Model Integrated (SEI-CMMI™).

CMMI, Modelo Integrado de Madurez de Capacidades

Modelo de madurez de capacidades (SEI-CMMI™) patrocinado por la Universidad de Carnegie-Mellon Software Engineering Institute (www.sei.cmu.edu).

Coefficiente de determinación

El coeficiente de determinación R^2 es utilizado en el contexto de modelos estadísticos cuyo principal propósito es predecir resultados futuros sobre la base de información relacionada. Es la proporción de variabilidad del conjunto de datos la que es justificada por este modelo estadístico. Éste provee una medida de cuán buenos se espera que sean los resultados futuros, pronosticados por el modelo. Hay numerosas definiciones diferentes de R^2 , que sólo a veces son equivalentes. Una de ellas incluye la regresión lineal. En este caso, R^2 es simplemente el cuadrado del coeficiente de correlación de la muestra entre los resultados y sus valores pronosticados, o en el caso de progresión lineal simple, entre el resultado y los valores usados para la predicción. En esos casos, los valores varían entre 0 y 1. Casos importantes en los que la definición computacional de R^2 puede producir valores negativos, dependiendo de la definición utilizada, surgen cuando las predicciones que están siendo comparadas con el resultado correspondiente no han sido derivadas de un procedimiento de modela-footing usando esos datos.

Colateral

Activo o bien que se ofrece como garantía de cumplimiento de obligaciones financieras futuras.

Confiabilidad

Ver confianza

Confianza

Un intervalo de confianza es un tipo particular de intervalo aproximado de un parámetro poblacional. En lugar de estimar el parámetro a partir de un valor único, se brinda un intervalo que probablemente lo incluya. Así, los intervalos de confianza son utilizados para indicar la confiabilidad de un estimado. La probabilidad que un intervalo contenga el parámetro está determinada por el nivel de confianza o coeficiente de confianza. Al aumentar el nivel de confianza deseado se amplía el intervalo de confianza. Un intervalo de confianza siempre es calificado por un nivel de confianza particular, usualmente expresado como un porcentaje. De este modo, se habla de un “intervalo de confianza del 95%”. Los extremos de un intervalo de confianza se denominan límites de confianza. Para un procedimiento de estimación en una situación dada, a mayor nivel de confianza, mayor amplitud del intervalo de confianza.

Consistencia dimensional

Refiere a la consistencia entre las unidades de las variables en una función de transferencia y la unidad del resultado.

Contingentes

Eventos que no han ocurrido pero podrían ocurrir con una probabilidad determinada.

Continuos

Refiere a una distribución continua de factores.

Control estadístico de procesos

Es un método efectivo de monitoreo de procesos mediante el uso de tablas de control. Éstas permiten el uso de criterios objetivos para distinguir la variación de los antecedentes de eventos de significancia, basándose en técnicas estadísticas.

Costo Presupuestado del Trabajo Realizado

Es el valor del trabajo completo expresado como el valor del presupuesto de rendimiento asignado a ese trabajo. Es igual a la suma de los presupuestos para los paquetes de trabajo completado, porciones completadas de paquetes de trabajo abierto, el Esfuerzo Adjudicado ganado en las cuentas base, y el valor de las actividades del Nivel de Esfuerzo. Puede ser expresado como un valor para un período específico o acumulativo a la fecha.

Costo Presupuestado del Trabajo Programado/Previsto

Es la suma de los presupuestos de rendimiento para todos los trabajos programados/previstos que deben ser consumados en un período de tiempo dado. Esto incluye paquetes de trabajo detallados, paquetes de planeamiento, Esfuerzos Adjudicados y paquetes de Nivel de Esfuerzo. Puede ser expresado como un valor para un período específico o acumulativo a la fecha.

CoPQ

Ver Costo de Baja Calidad.

CoQ

Ver Costo de Calidad.

Correlación

La correlación (frecuentemente medida como un coeficiente de correlación, ρ) indica la fuerza y la dirección de una relación lineal entre dos variables al azar. Eso es en contraste con el uso del término en el lenguaje coloquial, que denota cualquier relación, no necesariamente lineal. En el uso estadístico general, la correlación se refiere a la desviación de dos variables al azar de la independencia. En este amplio sentido hay múltiples coeficientes que miden el grado de correlación, adaptado a la naturaleza de la información.

Coste de capital

Es el rendimiento o retorno que se espera como retribución por tiempo y riesgo de un capital dado.

Costo de calidad

Costo de calidad, es el esfuerzo total dedicado en un proyecto a prevenir, verificar, validar y remover defectos.

Costo de capital

Ver Coste de Capital.

Costo de calidad pobre

Costo de calidad pobre, es el esfuerzo total dedicado en un proyecto a remover defectos.

Costo de evaluación (C_a)

Es el costo de realizar una evaluación de nivel de madurez a partir de verificar la implementación de prácticas y la satisfacción de objetivos requeridos por las diferentes áreas de proceso asociadas a cada nivel de madurez. Puede referir también al costo incurrido en evaluar que el software bajo desarrollo cumple con sus especificaciones.

Costo de implementación

Refiere al esfuerzo necesario para desplegar las acciones tendientes a introducir mejoras en procesos de software.

Costo de mejora de procesos

Refiere al costo de implementación (inicial) o al posterior mantenimiento de los procesos de software.

Costo de oportunidad

Ver Costo de Capital.

Costo de oportunidad corregido

Costo de Oportunidad donde se tiene en cuenta el aumento o reducción de riesgo debido a un factor sistémico.

Costo de prevención

Componente del Costo de Calidad.

Costo de reparación

Componente del costo de Calidad, equivalente al Costo de Calidad Pobre.

Costo de retrabajo

Ver Costo reparación o Costo de Calidad Pobre (CoPQ).

Costo del trabajo realizado

Ver Cost of Work Performed.

Cost of Poor Quality

Ver Costo de Calidad Pobre.

Cost of Quality

Ver Costo de Calidad.

Cost Performance Index (CPI)

El índice de costo de performance se calcula mediante la división del Costo Presupuestado del Trabajo Realizado por el Costo Actual del Trabajo Realizado correspondiente. This metric is an EVM performance factor representing cost efficiency.

Costo financiero de evaluación

Costo de evaluación normalizado por tiempo y riesgo.

Costo financiero de implementación

Costo de implementación normalizado por tiempo y riesgo.

Costo financiero total

Suma de costos financieros.

Cost of Work Performed

Ver Costo del Trabajo Realizado.

Costo por ingeniero

Costo total de personal, que incluye salarios, beneficios, seguros sociales. Incluye infraestructura para que el ingeniero desempeñe sus tareas tales como hardware, software y red. También considera costos indirectos como gerenciamiento y áreas de soporte.

Costo Presupuestado del Trabajo

Ver BCWP.

Costo Presupuestado Planeado

Ver BCWP.

Costo total de implementación

Suma de costos de implementación de proceso.

Costo vs. Beneficio

Factor de mérito económico donde se compara la suma de costos con las suma de beneficios.

Costo-beneficio

Ver Costo vs. Beneficio.

CPE

Ver Costo por Ingeniero (Cost per Engineer).

CPI

Ver Cost Performance Index.

CPM

Ver Camino Crítico.

Cramer, Test de

Es una estimación de mínima distancia para juzgar el ajuste de una distribución de probabilidad dada con una distribución empírica. Cuando se utiliza para estimar el ajuste entre dos distribuciones empíricas se denomina caso de las dos muestras. El criterio fue desarrollado por Harald Cramér y Richard Edler von Mises entre 1928 y 1930, Anderson desarrolló la generalización a dos muestras en 1962.

Crecimiento

Crecimiento de una organización, medido en la cantidad de personas directamente dedicadas a desarrollar software que la componen.

Critical path method

Ver Camino crítico.

Cycle time

Ver Ciclo de Entregas.

DCF

Ver Discounted Cash Flow.

Defectos en el proceso

Ver Defectos en Proceso.

Defectos en proceso

Defectos encontrados durante el desarrollo de software.

Definición operativa

Definición de las características estadísticas relevantes de un determinado factor así como su origen, propiedad, características de relevamiento y representación.

Degrees of freedom

El número de grados de libertad es el número de valores en el cálculo final de una estadística que están libres para variar. Las estimaciones de parámetros estadísticos se pueden basar en diferentes cantidades de información o datos. El número de piezas de información independientes de un parámetro que se incluyen en la estimación se denomina grados de libertad (DF). En general, los grados de libertad de una estimación son iguales al número de puntuaciones independientes que se incluyen en la estimación menos el número de parámetros estimados como pasos intermedios en la estimación del parámetro mismo.

Descuento de flujos de caja

Técnica financiera mediante la cual la totalidad de los flujos de fondo se normalizan en tiempo y riesgo en un momento arbitrario, usualmente el comienzo del proyecto, mediante el uso de una tasa de descuento o costo de oportunidad.

DF

Ver Degrees of Freedom.

Discounted Cash Flow (DCF)

Ver Descuento de Flujos de Caja.

Diagrama causal

Diagrama inicial realizado en un modelo dinámico donde se muestran las relaciones causa-efecto entre los distintos factores así como el signo de esta relación.

Diferencial por riesgo

Premio por riesgo requerido para una aplicación de capital.

Distribución beta

Es la distribución de probabilidad continua definida en el intervalo $[0,1]$ parametrizada por dos factores de forma, típicamente denominados α y β . Puede ser comprendida como la distribución del parámetro p en una distribución binomial después de haber observado $\alpha - 1$ eventos independientes con probabilidad p y $\beta - 1$ con probabilidad $1 - p$.

Distribución exponencial

Las distribuciones exponenciales son una clase de distribuciones de probabilidad continua. Describen la cantidad de eventos en una secuencia que siga una distribución de Poisson, por ejemplo, un proceso en el cual los eventos ocurren continua e independientemente, a una tasa promedio constante.

Distribución Gamma

La distribución gama es una familia de dos parámetros de distribuciones de probabilidad continuas. Tiene una escala de parámetros θ y un parámetros de forma k . Si k es un número entero, entonces la distribución representa la suma de variables al azar k independientes distribuidas exponencialmente, cada una de las cuales tiene una media de θ (la cual es equivalente a un tasa de θ^{-1}). La distribución gamma es frecuentemente un modelo de probabilidad para tiempos de espera. Por ejemplo, en tests de expectativa de vida, el tiempo de espera hasta la muerte es una variable al azar que es frecuentemente modelada con una distribución gamma.

Distribución normal

En estadística, es una distribución continua de probabilidades que describe datos que se agrupan en el entorno de una media o promedio siguiendo una distribución de densidades consistente con la curva de Gauss o función “campana”. La distribución normal puede ser utilizada para describir, al menos aproximadamente, cualquier variable que tienda a agruparse simétricamente alrededor de un valor medio.

Distribución triangular

Es la distribución de probabilidad continua con un límite menor a , un límite superior b y un valor central (media, mediana o moda según el caso). De tal manera que las probabilidades evolucionan en forma lineal y continua entre el límite menor, el valor central y luego decrecen también en forma lineal y continua desde el valor central hasta el límite superior.

Distribución uniforme

La distribución uniforme es una familia de distribuciones de probabilidad tal que para un dado intervalo definido las probabilidades son iguales. Para definirla se requieren dos parámetros, a y b , que son los valores mínimo y máximo del intervalo.

Distribución Weibull

La distribución Weibull es una distribución continua de probabilidad. Se denomina así en honor a Waloddi Weibull, quien la describió en detalle en 1951, aunque fue identificada por primera vez por Fréchet (1927) y aplicada por primera vez por Rosin y Rammler (1933) para describir la distribución por tamaño de las partículas. La función de densidad de la probabilidad de una variable Weibull x al azar es [1].

Earn Value Management

Técnica de gestión de proyectos donde se estima el estado actual de evolución basado en el consumo de recursos planeados y tiempo respecto a un plan considerado como línea base.

Equity

Posición de capital propio en una compañía.

Estacionalidad

Refiere a sesgos en la distribución de datos empíricos asociados con determinadas ventanas de tiempo.

Esfuerzo de despliegue de procesos

Ver Esfuerzo de Implementación.

Esfuerzo de entrenamiento

Esfuerzo necesario para entrenar a los profesionales en el uso de un proceso.

EVM

Ver Earn Value Management.

ex ante

Que ocurre antes.

ex post

Que ocurre después.

Fidelidad de calendario

Adherencia al calendario planeado. Típicamente en desarrollo de software significa cumplimiento de plazos previstos.

Financial leverage

Ver apalancamiento financiero.

Fischer exact test

Es un test de significancia estadística usado en el análisis de tablas de emergencia donde los tamaños de las muestras son pequeños. Se llama así en honor a su inventor, R. A. Fisher, y es uno de los tests exactos, denominados de esa manera debido a que la significancia de la desviación desde una hipótesis nula puede ser calculada exactamente, en vez de depender de una aproximación que se convierte en exacta en el límite, a medida que el tamaño de la muestra crece hacia la infinidad como ocurre en numerosos tests estadísticos. Se dice que Fisher creó el test siguiendo un comentario de Muriel Bristol, quien decía ser capaz de detectar cuál se había agregado primero a su taza, si el té o la leche.

Flujo de caja descontado

Ver Discounted Cash Flow.

Flujo recurrente

Ver Flujo perpetuo.

Flujos perpetuos

Ver Anualidad.

Función continua del valor

Representación integral del Flujo de Caja Descontado.

Gestión de calendarios

Gestión de un proyecto para cumplir con los plazos estipulados.

Gestión de riesgo

Gestión de los factores que pueden producir impacto en el valor del proyecto.

Gestión de valor ganado

Ver EVM.

Grados de libertad

Ver Degrees of Freedom.

Gran Y

Resultado principal de un modelo, en metodología Six Sigma.

Growth

Ver Crecimiento.

Grupo económico

Conjunto de organizaciones que dependen de un núcleo de decisión centralizado.

Incertidumbre

Variabilidad en los resultados.

Independencia

En estadística, que los distintos datos de una serie estadística empírica no están relacionados entre si. O que dos factores no se influyen mutuamente.

Ingresos extraordinarios

Ingresos por encima de la inversión realizada y el costo del capital empleado.

Ingresos por mejoras

Ingresos derivados de haber realizado mejoras en un proceso.

In Process Defects

Defectos detectados durante el proceso de desarrollo.

Internal Return Rate

Tasa interna de retorno, tasa de referencia la que aplicada al cálculo del valor presente neto asegura un resultado nulo.

Inviolates

Factores que no se pueden violar en un proceso.

IPD

Ver In Process Defects.

IRR

Ver Internal Return Rate.

ISO-9000

Norma ISO-9000.

ISO-900x

Norma de la familia ISO-9000.

Job shop scheduling

El proceso de job shop scheduling es un problema de optimización en ciencias de la computación mediante cuya solución se determina como se pueden asignar tareas a recursos en cada momento optimizando una función de utilidad definida.

Lazos causales

Lazos de relación entre causas y efectos en un modelo dinámico.

Ley 25922

Ley de Promoción de Software de la República Argentina.

Ley de Promoción de Software

Ver Ley 25922.

Ley de Software

Ver Ley 25922.

Línea de base

Estado o versión de un proceso o desarrollo que es tomada como referencia para gestión de control de cambios futuro.

Linealidad

En estadística, refiere a si una distribución empírica se relaciona con determinadas variables bajo estudio según una función lineal.

KLoC

Miles de Líneas de Código.

MAELOC

Millones de líneas de código equivalentes a código Assembler. Unidad de medida utilizada en ocasiones para medir el tamaño de un desarrollo de código compuesto por varios lenguajes y/o tecnologías; puesto que las líneas de código son dependientes como ponderador de tamaño del lenguaje y la tecnología se normaliza la cuenta reduciendo al mínimo común denominador, esto es a cuantas líneas de lenguaje ensamblador equivalen.

Mann-Whitney, Test de.

El test U de Mann-Whitney (también llamado el Mann-Whitney-Wilcoxon (MWW), el Wilcoxon rank-sum test, o el test Wilcoxon-Mann-Whitney) es un test no paramétrico para evaluar si dos muestras de observaciones independientes derivan de la misma distribución. Es uno de los mejores tests de significancia no paramétricos. Fue propuesto inicialmente por Frank Wilcoxon en 1945, para tamaños de muestras iguales, y luego extendido a tamaños de muestras arbitrarios y de otras maneras por H. B. Mann y Whitney (1947). El MWW es virtualmente idéntico a realizar un test de dos muestras ordinario sobre la información después de categorizar las muestras combinadas.

Market share

Proporción de una población de mercado que abarcan los productos o servicios de una organización

Matriz de trazabilidad

Matriz donde se relacionan requerimientos, funciones implementadas y casos de test.

Mejores prácticas

Conjunto de mejores prácticas, procedimientos o metodologías aplicables a un dominio dado de conocimiento.

Método de MonteCarlo

Es una clase de algoritmo que se sustenta en el muestreo repetido y al azar para calcular sus resultados. Es utilizado a menudo para simular sistemas físicos y matemáticos. Debido a su naturaleza son especialmente aptos para su utilización por computadoras. Este método es utilizado cuando no es posible o adecuado realizar el cálculo mediante algoritmos determinísticos. Es un método particularmente útil para estudiar sistemas con un gran número de grados de libertad débilmente acoplados o que muestran incertidumbres significativas en sus entradas tal como los cálculos de negocios que impliquen la consideración de riesgos.

Modelos analíticos estructurales

Modelos matemáticos donde las funciones de transferencia expresan una capa intermedia de variables dependientes que es calculada en función de las variables de entrada y salida; basado en la teoría y siguiendo la metodología de modelización de ecuaciones estructurales, propuesta por Karl Jöreskog y Dag Sörbom (1999)

Modelo de Madurez de Capacidades

Ver CMM.

Modelo de Madurez de Capacidades Integrado

Ver CMMI

Modelo Lineal Generalizado

El Modelo Lineal Generalizado es una generalización flexible de la regresión convencional por cuadrados mínimos. Este modelo generaliza la regresión lineal al permitir que el modelo lineal sea relacionado con la variable de respuesta mediante una función de enlace y al permitir que la magnitud de varianza de cada medición sea una función de su valor predicho. Los modelos Lineales Generalizados fueron formulados por John Nelder y Robert Wedderburn como una manera de unificar otros modelos estadísticos, incluyendo la regresión lineal, la regresión logística y la regresión Poisson, bajo un sólo marco. Esto les permitió desarrollar un algoritmo general para la estimación de máxima similitud en todos estos modelos.

Momentos estadísticos

Se refiere a los factores que caracterizan en principio a una distribución, esto es media, mediana, moda, desvío standard, sesgo y kurtosis.

Net Present Value

Ver Valor Presente Neto.

Nivel de significación

En estadística, un resultado es estadísticamente significativo si es improbable que haya ocurrido por azar. La frase “test de significación”, como tantas otras en estadística moderna, fue acuñada por Ronald Fisher, quien dijo que “tests críticos de este tipo podrán ser llamados tests de significación, y cuando éstos estén disponibles podremos saber si una segunda muestra es significativamente diferente de la primera o no”.

No paramétrico

El término no paramétrico, en estadística, cubre un rango de métodos de evaluación que no se basan en hipótesis sobre las distribuciones de los datos. Incluyen modelos estadísticos, test de inferencia e hipótesis. En general los métodos no paramétricos tienen menor variedad y potencia que sus equivalentes paramétricos, es decir que se basan en asumir una determinada distribución en los datos, típicamente normal.

Normalidad

En estadística, que exhibe o responde a una distribución normal.

NP Complete

En la teoría de la complejidad computacional, la clase NP-Complete, siendo NP la abreviatura de tiempo polinomial no determinístico (en inglés non-deterministic polynomial time) es una clase de problema que posee dos propiedades. Las soluciones pueden ser verificadas y resueltas rápidamente. Sin embargo, a pesar de ello, no existe una forma conocida de identificar una solución óptima al problema planteado.

NPV

Ver Valor Presente Neto.

Observatorio PyME

<http://www.observatoriopyme.org.ar>

Offshore

Tipo de servicio provisto en forma remota desde geografías típicamente en países emergentes.

Outliers

En estadística, un outlier es una observación que es numéricamente distante del resto de los datos. Se define como un outlier como una observación que aparece marcadamente desviada de otros miembros de la muestra en la que ocurre.

p-value

En test de hipótesis estadísticas el p-value es la probabilidad que asumiendo la hipótesis nula el resultado sea correcto dentro de la confianza adoptada. Se suele rechazar la hipótesis nula si el p-value es menor a 0,10 0,05 ó 0,01, correspondiente a una probabilidad del 10%, 5% ó 1% que exista este valor asumiendo cierta la hipótesis nula.

Payback

Factor de mérito económico donde se verifica en qué tiempo la suma de ingresos supera a la suma de gastos.

Pequeña Y

En metodología Six Sigma, uno o más resultados intermedios de un modelo.

Perpetuidad

Ver anualidad.

Pistas

Método de verificación mediante el cual se analizan los valores obtenidos en los pasos intermedios de ejecución de un programa que de otra forma no serían visibles en una ejecución normal.

Planeamiento financiero

Planeamiento donde se proyectan posiciones económicas normalizadas por tiempo y riesgo.

Productividad

En Ingeniería de Software refiere a la relación entre tamaño del producto y el esfuerzo involucrado en su creación o modificación.

Proceso Unificado de Rational

Proceso de desarrollo de software propuesto por la compañía Rational.

Programación extrema

La programación extrema es una metodología de ingeniería de Software que tiene la intención de mejorar la calidad de software y la agilidad para cambiar ante los requerimientos del cliente. Como un tipo de desarrollo de software ágil, recomienda liberaciones frecuentes en pequeños ciclos de desarrollo, lo que intenta mejorar la productividad e introducir controles donde puedan adoptarse los nuevos requerimientos de los clientes.

Presupuesto financiero

Resultado del planeamiento financiero.

PyMEs

Pequeñas y Medianas Empresas.

R-cuadrado

Ver Coeficiente de Determinación.

Regresión logística ordinal

La regresión logística (a veces llamada modelo logístico) es utilizada para predecir la probabilidad de ocurrencia de un evento mediante la introducción de datos en una curva logística. Es un modelo generalizado lineal utilizado para una regresión binomial. Tal como muchas formas de análisis de regresión, utilice numerosas variables predictoras que pueden ser numéricas o categóricas. Por ejemplo, la probabilidad que una persona tenga un ataque cardíaco en un determinado período de tiempo puede ser predecida a partir del conocimiento de la edad, sexo e índice de masa corporal de la persona. La regresión logística es utilizada ampliamente en las ciencias médicas y sociales, así como en aplicaciones de marketing tales como la predicción de la tendencia de un cliente a comprar un producto o suspender una suscripción.

Reinforcement learning

Ver Aprendizaje por refuerzos

Repago de la inversión

Ver Payback.

Requerimientos de Evaluación para CMMI

Especificación de requerimientos para un procedimiento de evaluación conforme a SEI-CMMI™.

Retorno de Inversión

Cantidad de veces que los ingresos de una inversión son superiores a los egresos necesarios para realizarla.

Return of Investment

Ver Retorno de la inversión.

 r_f

Tasa libre de riesgo.

Riesgo de comprador

Probabilidad que la provisión de servicios resulte en mayores costos para el comprador.

Riesgo de constructor

Probabilidad que la provisión de servicios resulte en mayores costos para el constructor.

Riesgo de evaluación

Probabilidad que una evaluación de madurez no sea exitosa.

Riesgo de usuario

Ver Riesgo de Comprador.

Resample

Proceso relacionado con la ejecución de una evaluación de Montecarlo donde se exploran múltiples intervalos de tiempo. Las funciones estocásticas se calculan solamente una vez para cada ejecución del intervalo.

ROI

Ver Retorno de Inversión.

RUP

Ver Proceso Unificado de Rational.

SCAMPI

Acrónimo de Standard CMMI Appraisal Method for Process Improvement, Método estándar de CMMI para evaluación de mejoras de proceso.

Schedule fidelity

Ver fidelidad de calendario.

Schedule Performance Index (SPI)

Es calculado mediante la división del Costo Presupuestado del Trabajo Realizado sobre el Costo Presupuestado del Trabajo Programado. Esta métrica es utilizada en EVM como un factor de rendimiento representando la eficiencia en el cumplimiento de los calendarios.

SEI

Software Engineering Institute de la Universidad Carnegie-Mellon <http://www.sei.cmu.edu>

Sensitivity analysis

Ver Análisis de sensibilidad.

SEPG

Acrónimo de Software Engineering Process Group, Grupo de Procesos de Ingeniería de Software.

Servicios de Valor Agregado

Servicios donde la organización agrega valor.

Six Sigma

Es una estrategia de dirección de negocios originalmente desarrollada por Motorola. Desde 2009 goza de una extendida aplicación en varios sectores de la industria, a pesar que su aplicación no carece de controversia.

Six Sigma busca mejorar la calidad del rendimiento del proceso mediante la identificación y remoción de las causas de los errores y la variabilidad en los procesos de fabricación y negocios. Utiliza un conjunto de métodos de dirección de calidad, incluyendo métodos estadísticos, y crea una infraestructura especial de la gente dentro de la organización (“Cinturones Negros”, “Cinturones Verdes”, etc.), quienes son expertos en esos métodos. Cada proyecto de Six Sigma llevado a cabo dentro de una organización sigue una secuencia definida de pasos y tiene objetivos financieros cuantificados (reducción de costos o aumento de las ganancias).

Small and Medium Enterprise

Organización PyME.

Small Y

Ver Pequeña Y.

SME

Acrónimo en inglés que significa “Subject Matter Expert” (Experto en la materia) o “Small and Medium Enterprise” (PyMEs). En este trabajo se utiliza la segunda opción.

SPC

Ver Control Estadístico de Procesos.

SPI

Software Process Improvement, Mejora de procesos de software.

Statistical Process Control

Ver Control estadístico de procesos.

Tailoring

Proceso mediante el cual un proceso de software se ajusta a las necesidades de un proyecto en particular.

Tasa de corte

Ver Costo de Oportunidad.

Tasa de descuento

Ver Costo de Oportunidad.

Tasa efectiva anual

Tasa de capitalización anual equivalente a calcular 12 períodos mensuales utilizando interés compuesto.

Tasa Interna de Retorno

Ver Internal Return Rate.

Tasa libre de riesgo

Costo de oportunidad que solo considera el premio por tiempo. Típicamente se utiliza el rendimiento de los bonos del tesoro de Estados Unidos a 30 años.

TEA

Tasa efectiva anual.

Test dinámico

Test de una implementación que se realiza mediante ejecución.

Test estático

Test de una implementación que se realiza sin ejecutarla.

Test estadístico

Proceso de test de hipótesis (ver por ejemplo 2 sample t-test).

TIR

Ver Tasa Interna de Retorno

Trace

Ver Pistas

Transformación Box-Cox

La potenciación proviene de una familia de funciones que son aplicadas para crear una transformación en un conjunto de datos que preserva los rangos del conjunto original. Esto es una técnica de pre-procesamiento útil pues estabiliza la variación, hace que los datos converjan a una distribución más aproximadamente normal y mejora la correlación entre las variables. La transformación de Box-Cox propuesta por los matemáticos George E. P. Box y David Cox, es una forma particular de parametrizar la potenciación que tiene propiedades útiles en análisis estadísticos.

USA DoD

Departamento de Defensa de los Estados Unidos. De relevancia en el contexto del estudio de SPI ya que patrocinó el desarrollo inicial de los modelos SEI SW-CMM y SEI-CMMI™.

Usabilidad

La usabilidad es el conjunto de atributos que refieren a la claridad y elegancia con que se diseña un programa de ordenador o herramienta computarizada y que permite aprendizajes rápidos de su uso, consistencia de su operación y reducción de errores en su ejecución debido a instrucciones o comandos incorrectos.

Valor Presente Neto (VPN)

El Valor Presente Neto (VPN) se define como el valor presente total de una sucesión en el tiempo de flujos de caja. Es un método estándar para calcular el costo del tiempo y el riesgo del capital en proyectos a largo plazo. Es utilizado para y ampliamente en economía, y mide el exceso de rendimientos una vez que los costos de tiempo y riesgo han sido cubiertos.

VPN

Ver Valor Presente Neto.

Wilcoxon, Test de

El test signed-rank de Wilcoxon es un test de hipótesis estadística no paramétrica para el caso de dos muestras relacionadas o mediciones repetidas de una muestra única. Puede ser utilizado como una alternativa del paired t-test de Student cuando no se puede asumir que la población sigue una distribución normal. Este test tiene el nombre de Frank Wilcoxon (1892–1965) quien, en un solo trabajo, lo propuso junto con el test de dos muestras independientes (Wilcoxon, 1945). Al igual que el t-test, el test de Wilcoxon incluye comparaciones de las diferencias entre mediciones, por lo tanto requiere que los datos sean medidos a intervalos consistentes. No obstante, no requiere suposiciones sobre la forma de distribución de las medidas. Por lo tanto, debería ser utilizado cada vez que no puedan ser satisfechas las suposiciones distribucionales que subyacen al t-test.

Whisker

Ver BoxPlot

Apéndice A Factor de reducción de riesgo (λ)

En el Capítulo 4 se introdujo el concepto de *factor de reducción de riesgo* λ . Se trata de una construcción para capturar la mejora en el perfil financiero de los ingresos debido a la reducción de riesgo asociada a la iniciativa SPI. Este factor se deriva de la relación entre promedios y dispersiones estándares inicial (μ_i , σ_i) y final (μ_o , σ_o) en los resultados de la organización. En producción de software, el objeto de variación es el costo o el tiempo de desarrollo de los proyectos, ambos relacionados entre sí. De este modo, a iguales valores promedio, la reducción de la variación en los resultados reduce el valor de λ , de acuerdo con la siguiente relación aproximada propuesta por Harrison [Harrison2001a]:

$$\lambda = \frac{\sigma_o}{\mu_o} \times \frac{\mu_i}{\sigma_i} \quad \text{Ec 77}$$

Existe poca información en la bibliografía que contribuya a definir valores concretos tanto para el factor de reducción de riesgo mismo como para los factores que permitirían calcularlo.

Para superar esta dificultad, se modelará una solución donde se utilizan datos de campo relevados por la Dra. Patricia Lawlis y su grupo de colaboradores [Lawlis1995]. Este trabajo es uno de lo más frecuentemente citados como prueba de la correlación entre mejoras de madurez y performance de la organización y abarca organizaciones hasta Nivel 3 de madurez utilizando SEI SW-CMM. Ambos factores introducen amenazas a la validez del análisis, por lo que se realizará una estimación adicional mediante técnicas de simulación.

A.1 Uso de SEI SW-CMM y la performance de las organizaciones.

Lawlis [Lawlis1995] estudió la relación entre el uso SEI SW-CMM, antecesor del SEI CMMI™, y el éxito en los proyectos de software realizados por las organizaciones que lo adoptaron. Para ello relevó la información sobre costos y calendarios de 51 proyectos realizados por 11 contratistas del Departamento de Defensa de EEUU (US DoD), de forma de correlacionar el comportamiento de los mismos con el nivel SEI SW-CMM™ evaluado para las organizaciones o grupos que los llevaban a cabo. Sin embargo, los datos utilizados no han sido publicados al presente ni existe otra fuente con información similar.

La Dra. Lawlis compartió la base de datos utilizada en dicho estudio para ser utilizada en la corroboración de aspectos de esta tesis. En particular, se la utilizó para realizar el análisis de la variación observable de resultados en organizaciones operando en diferentes niveles de madurez. La base de datos es incorporada en el Apéndice E para referencia ulterior.

Se seguirán los lineamientos de Harrison para obtener valores del factor de reducción de riesgo λ . Es necesario poder definir ciertos coeficientes de la metodología de gestión de proyectos denominada *gestión de valor ganado* (*earn value management EVM*), donde los resultados corrientes de costo y calendario son confrontados con los resultados presupuestados para ambos, también llamados la *línea de base* del proyecto. Los *índices de performance de costo* (*cost performance index CPI*) y el de *performance de calendario* (*schedule performance index SPI*) son utilizados en forma estándar en la industria para identificar cuándo un proyecto se encuentra por debajo (índice < 1), dentro (índice ≈ 1) o por encima (índice > 1) de las expectativas presupuestadas de rendimiento.

Para calcularlos, se determina el *costo del trabajo realizado* (*actual cost of work performed ACWP*) como la suma de los fondos gastados en un proyecto para realizar las actividades planeadas al presente. El *costo presupuestado de trabajo* (*budgeted cost of work performed BCWP*) representa el valor estimado devengado por el trabajo completado. Finalmente, el *costo presupuestado planeado* (*budgeted cost of work schedule BCWS*) expresa los gastos planeados que deberían haberse gastado al momento de realizar el análisis.

En base a ellos, se definen los índices de rendimiento según las siguientes ecuaciones:

$$CPI = \frac{BCWP}{ACWP} \quad \text{Ec 78}$$

$$SPI = \frac{BCWP}{BCWS} \quad \text{Ec 79}$$

Un proyecto que transcurre dentro de los valores presupuestados mantiene ambos índices en el entorno de la unidad.

Lawlis propone en su trabajo la creación de un *índice de performance relativa de costo y calendario* (η), formado por la combinación de ambos según la Ec 80, que es adoptado en la evaluación del artículo citado [Lawlis1995]:

$$\eta = \frac{CPI}{SPI} \quad \text{Ec 80}$$

Sin embargo, en este trabajo de investigación se quiere mantener el énfasis en la performance financiera, o más propiamente, la incertidumbre en la misma, por lo que se concentrará el estudio en el índice de performance de costo CPI.

A.2 Análisis de datos

El primer paso es analizar estadísticamente la base de datos, en particular las características y distribución que tiene el índice de performance de costo CPI de los proyectos que están reportados. Para ello, utilizando el programa *MiniTab Version 1.4*, se comienza por caracterizar la

performance de las organizaciones seis meses luego de ser evaluadas en un determinado nivel SEI SW-CMM. Este tiempo se toma en la presunción, basada en la experiencia, que es el que permitirá a la organización tener completamente consolidadas las prácticas y las metodologías desplegadas con su inversión SPI respecto de lo que existía inmediatamente a continuación de la evaluación. Un resumen del resultado puede observarse en la Figura. A-1.

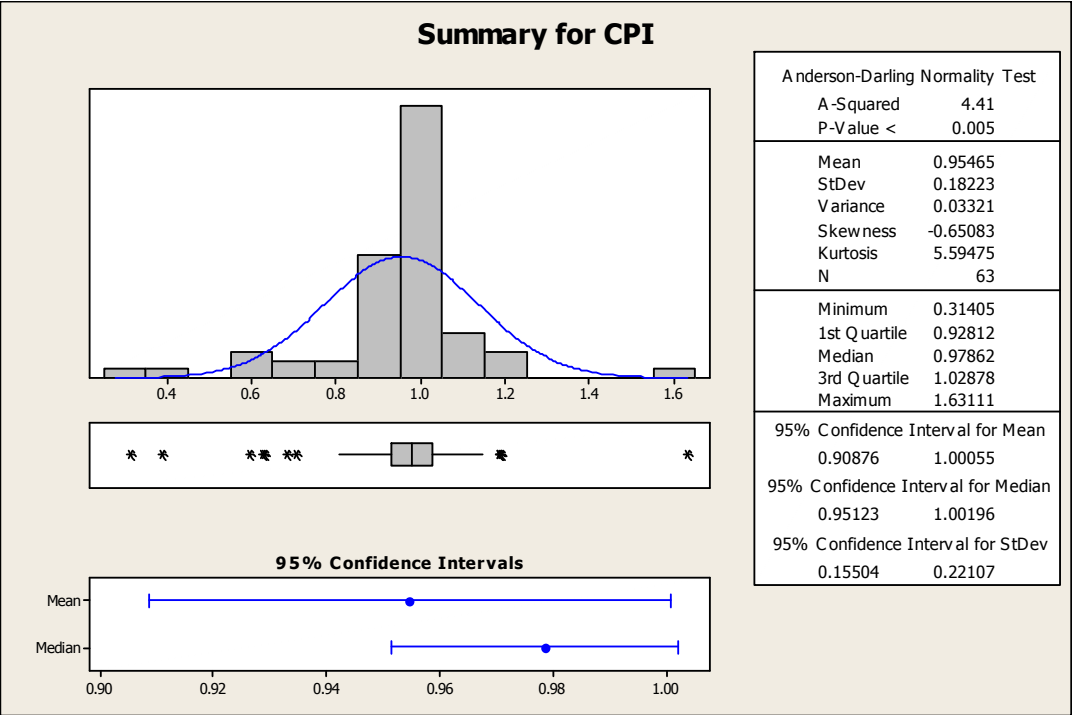


Figura. A-1 Perfil estadístico de CPI para organizaciones [Lawlis1995]

La distribución del índice de performance de costo no presenta una distribución normal, el test de Anderson-Darling muestra un $p < 0.005$ con lo que puede, dentro del margen de confianza de $\alpha = 0,05$, rechazarse la hipótesis nula de normalidad. Los resultados permiten además afirmar que, en promedio, las organizaciones incurren en costos por encima de lo que planean (condición $CPI < 1$ en promedio).

Si tomáramos los proyectos caracterizados por el nivel de madurez de las organizaciones que los llevan adelante, las secuencias individuales de datos tampoco muestran distribución normal realizando el mismo test de Anderson-Darling en los tres juegos de datos resultantes, para organizaciones de nivel 1, 2 y 3 respectivamente. Las distribuciones de los tres juegos de datos pueden verse en el siguiente gráfico box-plot mostrado en la Figura. A-2.

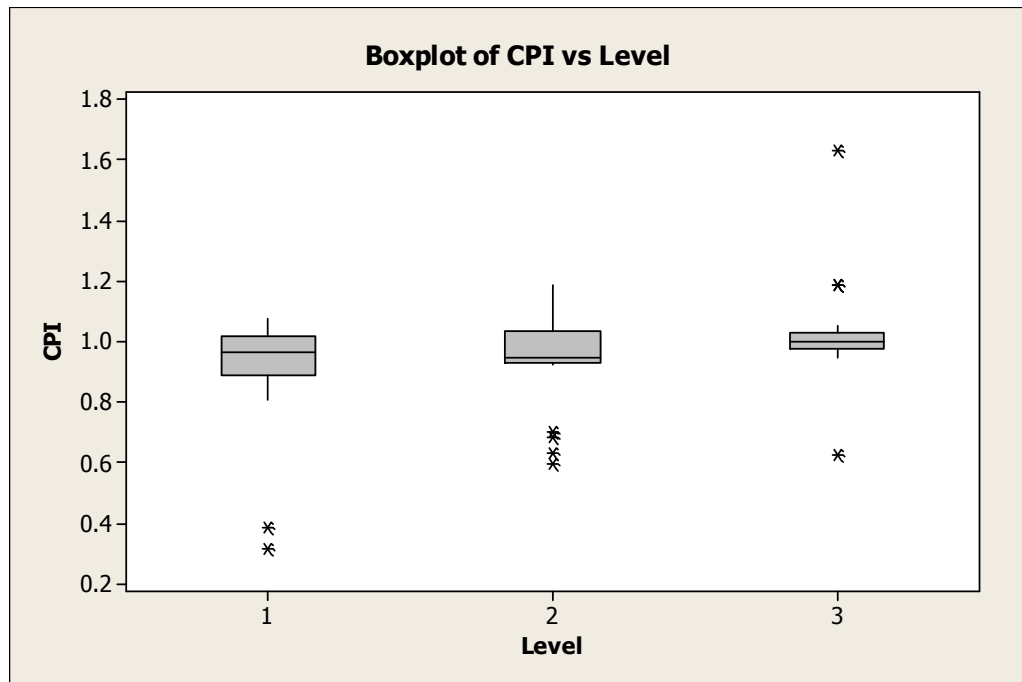


Figura. A-2 Distribución de CPI por Nivel de Madurez SEI SW-CMM TM [Lawlis1995]

El grafico, llamado también boxplot, provee una caracterización de la distribución de una variable mediante cinco datos esenciales sobre ella. El mínimo de la muestra, el cuartil inferior (Q1), la media (Q2), el cuartil superior (Q3) y el máximo observado. Los valores que son considerados principales están encerrados en un box, mientras que los puntos de datos extremos (outliers) son representados con asteriscos. Este tipo de diagrama es útil para mostrar la distribución de una población o hacer comparaciones entre poblaciones sin hacer ninguna hipótesis sobre el tipo de distribución que pudieran tener. Los espacios entre las diferentes partes de cada gráfico del diagrama indican el grado de dispersión y sesgos de los datos.

En el gráfico puede verse que la dispersión de los resultados disminuye a medida que se incrementa el nivel de madurez SEI SW-CMM; esto se traduce en que las cajas son “más angostas”, lo que significa que los valores están más agrupados alrededor de la mediana. También puede verse que no hay incorporados en el juego de datos proyectos realizados por organizaciones con nivel de madurez superior a 3.

Cabe preguntarse si se puede mantener el criterio utilizado en el Capítulo 6 de considerar a organizaciones de Nivel 2 y Nivel 3 esencialmente como un grupo homogéneo operando en un nivel de madurez inicial. Para abordar esta cuestión se utiliza el test de Mann-Whitney sobre las medianas de las poblaciones de organizaciones de Nivel 2 y de Nivel 3. Este test tiene como hipótesis nula que las medianas de las dos poblaciones son iguales y como hipótesis alternativa que no lo son. Seleccionando un nivel de confianza de $\alpha=0,05$, se obtiene que el p-value es 0,951, por lo que hay

evidencia insuficiente para rechazar la hipótesis nula y no se soporta la hipótesis de diferencia entre las poblaciones. Se considerará, entonces, que las organizaciones de Nivel 2 y Nivel 3 son en realidad parte de un grupo homogéneo de organizaciones de nivel básico de madurez, tal como lo hemos sostenido en otras partes de este trabajo.

A.3 Reducción de Incertidumbre (λ)

Se divide la población en dos grupos. El primero (maturity 0) compuesto por los proyectos realizados por organizaciones de nivel 1 de madurez SEI SW-CMM, y el segundo (maturity 1) compuesto por los proyectos realizados por organizaciones de nivel 2 y 3 de madurez según SEI SW-CMM.

Sobre esta modificación se calcula el promedio y la desviación estándar en el CPI de las poblaciones, usando el programa MiniTab v1.2. El resultado se refleja en la Tabla. A-1.

Variable	Maturity	N	N*	Mean	SE Mean	StDev	Minimum	Q1	Median
CPI	0	19	0	0.9032	0.0482	0.2100	0.3140	0.8870	0.9655
	1	44	0	0.9769	0.0251	0.1666	0.5943	0.9433	0.9788

Tabla. A-1 Media y Desvio Standard en Poblaciones por Grupo de Madurez (Resultado MiniTab v1.2)

Con estos valores y aplicando la Ec 51, se obtiene el siguiente resultado: Ec 81

$$\lambda = \frac{0,16666 / 0,9769}{0,2100 / 0,9032} = \frac{0,1705}{0,2325} \cong 0,73 \quad \text{Ec 81}$$

Este resultado sugiere que las organizaciones que alcanzaron un nivel de madurez inicial mejoran la certidumbre de sus resultados respecto a las organizaciones que no han realizado iniciativas en SPI y, por lo tanto, operan en nivel de madurez 1. El factor de reducción de riesgo es de aproximadamente un 73% para las organizaciones que han hecho inversiones SPI.

Se desconocen las razones, pero desafortunadamente la base de datos sólo contiene organizaciones con niveles iniciales de madurez y, por lo tanto, no permite explorar el comportamiento de organizaciones de alta madurez. Adicionalmente, el estudio es antiguo y refiere al antecesor de SEI-CMMI™. Estas son dos razones para tratar de elaborar criterios adicionales para evaluar el factor de reducción de riesgo λ .

A.4 Estimación de λ por reducción de retrasos

La experiencia y la bibliografía muestran que la mejora en la performance de la organización es comparable entre SEI SW-CMM y SEI-CMMI™, dado que se fundamenta en los mismos

conceptos. Por otra parte, la evidencia empírica muestra que las organizaciones en niveles altos de madurez (Nivel 4 y 5) no son numerosas y este factor puede explicar la ausencia de datos.

En cualquier caso, es útil realizar una comprobación de los posibles valores del factor λ por una vía independiente, para evaluar si los resultados obtenidos son razonables.

Paulisch [Paulisch2008] nos provee datos sobre la mejora en la disminución en los retrasos de proyectos, denominada *fidelidad de calendario* (schedule fidelity), para diferentes niveles de madurez SEI-CMMI™, según lo que puede verse en la Figura. A-3.

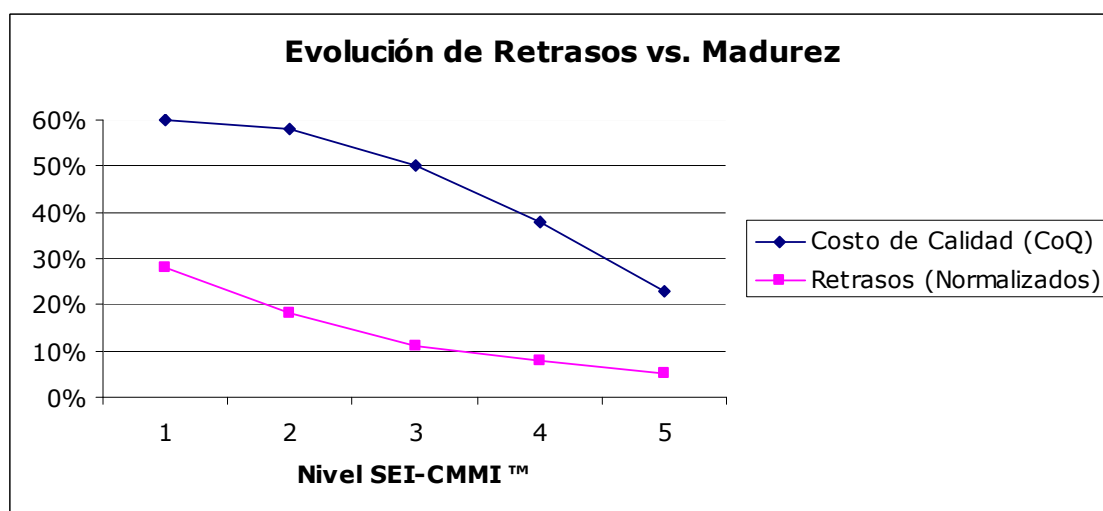


Figura. A-3 Fidelidad de Calendario por Nivel de Madurez SEI CMMI™ [Paulisch 2008]

Los valores aproximados tomados de la presentación serán de un retraso promedio de 26% para Nivel 1, de 10% para Nivel 3 y 5% para Nivel 5.

Para transformar los retrasos en variaciones del CPI, es necesario utilizar un modelo de esfuerzo que proporcione la relación entre tiempo de desarrollo y esfuerzo. En el marco teórico, se ha identificado con esas características los modelos de Putman-Norden-Ralegh PNR y el modelo de Parr. Estos, sin embargo, son relativamente complejos y requieren el cómputo del ciclo de vida completo del proyecto.

Una alternativa más sencilla es utilizar la versión más simple del modelo propuesto por Boehm [Boehm1981], llamado COCOMO I, cuya expresión para relacionar el esfuerzo K con el tiempo de desarrollo t_{dev} está dado por:

$$t_{dev} = \frac{5}{2} \times K^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec 82}$$

Si el proyecto de desarrollo sufre un retraso Δt , su costo pasará de ser $K(t_{dev})$ a $K(t_{dev} + \Delta t)$, por lo que podrá calcularse el CPI mediante:

$$CPI = \frac{K}{K + \Delta K} = \frac{K(t_{dev})}{K(t_{dev} + \Delta t)} \quad \text{Ec 83}$$

Para evaluar el valor medio y el desvío estándar de CPI que nos permita aplicar la Ec 77, será necesario calcular sus posibles valores mediante simulación.

Al efecto, se comenzará por generar estocásticamente una distribución de esfuerzos de proyecto aproximado mediante una distribución triangular. Nos basaremos en el esfuerzo reportado por Clark [Clark2000] para aproximar una distribución posible. Para ello se utilizará una distribución triangular con valor medio de 711 personas-mes y con 6 y 1200 personas-mes como mínimo y máximo respectivamente. Tanto el valor mínimo como el valor medio se corresponden con lo reportado por Clark. Sin embargo, limitaremos el valor máximo al que pueda entregar una organización de 100 personas. El límite propuesto por Clark de 11400 personas-mes es, probablemente, poco realista. Los retrasos se calcularán también mediante generación estocástica de tres perfiles correspondientes a los niveles 1, 3 y 5 de madurez según SEI-CMMI™. Se utilizará una distribución triangular donde la media se corresponda a lo reportado por Paulisch [Pauslich2008], mientras que el mínimo será cero y el máximo el doble de la media. Esta distribución asumirá con algún margen de error que los proyectos no tienden a adelantarse. La experiencia indica que esta situación es relativamente infrecuente.

Se calcula el modelo simple dado por la Ec 83 y se obtiene el valor medio y el desvío estándar del valor CPI; a continuación y utilizando la Ec 77 se pueden obtener los valores que muestra la Tabla. A-2.

Resultado	CPI		
	Nivel 1	Nivel 3	Nivel 5
μ	0.522	0.758	0.866
σ	0.137	0.085	0.051
μ/σ	3.821	8.922	17.115
λ		0.428	0.521

Tabla. A-2 Resultados de Simulación de Reducción de Incertidumbre [Paulisch2008]

Estos resultados, formulados independientemente con un juego de datos diferente son consistentes con los obtenidos en la sección anterior.

El orden de magnitud obtenido para organizaciones de nivel 3 es aproximadamente similar al obtenido previamente con el juego de datos de la Dra. Lawlis, esto es, $\lambda=0,58$. La aplicación del mismo método para organizaciones de nivel 5 de madurez permiten comprender que el nivel de reducción de riesgo respecto a una organización de nivel 3 está en el orden de $\lambda=0,52$. Calculando la reducción de riesgo entre una organización de nivel 1 y otra de nivel 5, el resultado es de $\lambda=0,223$

Estos valores significan que, debido a la reducción de incertidumbre, una organización de Nivel 3 es aproximadamente un 50% menos riesgosa que una de Nivel 1, mientras que una de Nivel 5 es a su vez un 50% menos riesgosa que una de Nivel 3.

A.5 Resumen y amenazas a la validez

Es necesario reflexionar brevemente sobre el alcance y validez del análisis realizado en este apéndice. Se comienza utilizando datos de campo de uno de los pocos estudios sistemáticos que existen en la bibliografía sobre la correlación entre la performance de organizaciones y su nivel de madurez.

Este estudio fue realizado en 1995 y el modelo de referencia utilizado era SEI SW-CMM, el antecesor del actual SEI CMMI TM. Abarcó sólo organizaciones de Nivel 2 y 3, pero no proporcionó información sobre las de Nivel 4 y 5.

Se hacen, por lo tanto, hipótesis implícitas de validez en cuanto a que las mejoras de performance utilizando SEI-CMMI TM son al menos igual de efectivas que su antecesor. Además, se asume que otros avances cuantitativos y cualitativos en la industria no han introducido cambios sistémicos significativos que pudieran hacer variar significativamente estos resultados.

Estas amenazas a la validez del análisis se mitigan mediante un cálculo por un mecanismo independiente que proporciona resultados similares. Por otra parte, estas amenazas a la validez deben contrapesarse con el uso que se hará de este factor en el modelo. No se utilizará para definir en forma heurística ni estocástica el comportamiento y resultado del modelo, sino como parámetro externo. En tal sentido, el análisis será útil para establecer aproximadamente el rango de valores que se pueden considerar y la sensibilidad de los resultados a los mismos sin sesgar el resultado.

Apéndice B Probabilidad de éxito (ξ)

Durante el modelado se utilizó la probabilidad de tener una evaluación exitosa y su relación con el nivel de madurez que se intenta lograr. La incertidumbre de evaluación forma parte de la formulación de los términos de ingresos en el modelo de inversión, pues ayuda a establecer la esperanza que esos ingresos efectivamente se alcancen. Expresado de otra manera, es una medida del riesgo que el despliegue no sea exitoso.

La *probabilidad de evaluación exitosa* (ξ) dependerá del nivel objetivo. Se puede calcular este factor en forma aproximada utilizando la base de datos del SEI para explorar cuál es la proporción de las evaluaciones exitosas en un nivel dado respecto del número total para el mismo nivel. Tal análisis arroja los valores indicados en la Tabla. B-1 que, si bien tiene alguna antigüedad, es la única referencia sustentada por SEI al presente.

Nivel SW-CMM Objetivo	Total Organizaciones	Evaluaciones			
		Exitosas	%/Tot	Fallidas	%/Tot
Evaluación Nivel 2	31	18	58.1%	13	41.9%
Evaluación Nivel 3	23	21	91.3%	2	8.7%

Tabla. B-1 Resultados de Evaluaciones SEI SW-CMM (Hayes 1995)

Sobre un total de 54 evaluaciones realizadas, las 31 relacionadas con la adquisición del Nivel 2 de SEI SW-CMM tuvieron una frecuencia de éxito del 58%, mientras que fracasaron en el 42%. Los mismos resultados, pero para organizaciones siendo evaluadas para SEI SW-CMM Nivel 3, muestran que poco más del 91% transitaron exitosamente el proceso de evaluación.

En realidad, esta corrección es necesariamente optimista puesto que no hay garantía que la bibliografía capture los esfuerzos de SPI fallidos, que se abandonan en verificaciones preliminares.

Sin embargo, la experiencia muestra que cualitativamente estas figuras son razonables. Las organizaciones que abordan una evaluación de Nivel 2 están en los estados preliminares de su hoja de ruta de madurez y se han concentrado mayormente en mejorar la performance de sus proyectos, pero no tanto de la organización como un sistema. Por lo tanto, su capacidad de realizar evaluaciones realistas y el tiempo que han usado sus nuevos procesos para asegurar un grado razonable de institucionalización, son ambos limitados.

En contrapartida, una organización que intenta lograr Nivel 3 ha realizado un esfuerzo significativo no sólo en desplegar prácticas a nivel proyecto sino también a nivel organización durante tiempos más prolongados. Aún así, la evaluación de Nivel 3 es sustancialmente más

compleja y extensa que la de Nivel 2 debido al mayor número de áreas de proceso involucradas, lo que explica un cierto número de casos fallidos.

Este modelo tomará como hipótesis razonable, sujeta a validación en trabajos futuros, que las organizaciones que fallan en sus procesos de evaluación formal están capturadas en la bibliografía referenciada, mientras que fallas en evaluaciones preliminares actúan esencialmente como detractores del *tiempo de implementación* (t_{spi}) y el *esfuerzo de implementación* (K_{spi}), los que son a su vez capturados por otras vías.

Apéndice C Encuesta nacional de perfiles SPI en Argentina.

Se presentan los resultados obtenidos en la encuesta nacional de perfiles realizada en Argentina en conjunto con CESSI, y que ha sido utilizada como fuente de datos empíricos para la formulación del modelo de inversión en SPI.

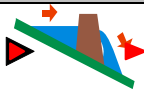
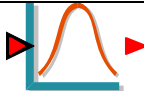
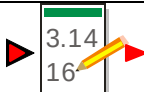
Los detalles sobre las preguntas formuladas, su significado y los valores de las posibles respuestas pueden consultarse en el Apéndice “G”.

Las respuestas sombreadas en gris corresponden a organizaciones que no implementaron SEI-CMMI™ y, por lo tanto, no fueron incluidas en los análisis realizados.

Organización Id	Tamaño de Organización	Nivel SEI-CMMI™ Actual	Año de obtención de nivel	CMM/CMMI	Continuo(C)/Etapas(S)	Nivel	Tiempo de implementación (meses)	Esfuerzo de implementación (meses/persona)	Adopta Ley 25922	Operación off-shore	Costo de oportunidad utilizado	Horizonte de inversión	Mejoras de Ingresos	Mejoras de productividad	Mejora de resultados	Mejora de imagen	Mejora de satisfacción de staff	Mejora de satisfacción de clientes	Mejora de madurez organizacional
1	5	3	2001	X	S	2	23	100.0	1	2	0	2	1	4	3	2	2	2	2
1	5	3	2006	X	S	3	16	88.0	1	2	0	2	1	4	3	2	2	2	2
2	2	1	0	0	0	0	0	0.0	2	2	0	0	2	4	0	0	2	2	2
3	5	2	2007	X	S	2	24	24.0	2	2	3	2	4	4	3	2	2	2	2
4	5	2	2005	X	C	2	14	60.0	2	2	2	1	3	4	3	2	2	2	2
5	5	4	2003	X	S	3	18	36.0	2	2	0	2	2	5	3	2	2	2	2
5	5	4	2005	X	S	4	22	66.0	2	2	0	2	2	5	3	2	2	2	2
6	3	1	0	0	0	0	0	0.0	1	1	0	2	2	3	1	2	1	2	2
7	5	5	2007	X	C	5	24	120.0	2	2	0	2	1	3	3	2	2	2	2
8	5	2	2005	X	S	2	10	106.3	1	2	0	3	2	4	3	1	2	2	2
9	5	1	0	0	0	0	0	0.0	2	2	0	2	2	4	2	1	1	2	1
10	4	5	2007	X	S	5	8	28.1	2	2	4	3	4	5	3	2	2	2	2
10	4	5	2006	X	S	4	20	111.3	2	2	4	3	4	5	3	2	2	2	2
10	4	5	2005	X	S	3	12	50.0	2	2	4	3	4	5	3	2	2	2	2
10	4	5	2004	X	S	2	24	143.8	2	2	4	3	4	5	3	2	2	2	2
11	3	2	2007	X	C	2	18	58.5	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2
12	3	2	2008	X	S	2	15	24.0	2	2	0	2	3	4	3	2	2	2	2
13	5	2	2004	X	S	2	36	48.0	2	1	0	3	2	4	3	2	2	2	2
14	5	3	2007	X	S	3	18	54.0	2	2	0	4	3	4	3	2	2	1	2
15	4	2	2008	X	S	2	20	40.0	2	2	0	2	1	4	3	2	1	2	2
16	2	2	2008	X	S	2	24	65.0	2	1	2	5	2	4	2	2	2	1	2

Tabla. C-1 Datos de encuesta de perfiles SPI realizada junto con CESSI en Argentina

Apéndice D Componentes utilizados en GoldSim.

Icono	Componente GoldSim	Propósito
 Np	Reservoir	Stock
 Eprod	Function	Resultado es función de las entradas.
 Kprod	Stochastic	Variable generada estocásticamente
 r	Data	Variable ingresada
 delta_I	Event	Evento, genera resultados en momentos específicos de la ejecución
 Lambda	Lookup_table	Tabla de 2D
 NPVspi	Discounted Cash Flow	Flujo descontado de caja, descuenta los flujos de caja a la tasa indicada ajustada al período de cálculo.
 SPI	Subsystem	Sub-sistema

Apéndice E Correlación de Performance con SEI SW-CMM

Datos de campo cedidos por la Dra. Patricia Lawlis, utilizados para realizar investigación reportada en la referencia bibliográfica [Lawlis1995].

OrgId	Rating	CPI	SPI	CPI/SPI	R	RatingRel	OrgId	Rating	CPI	SPI	CPI/SPI	R	RatingRel	OrgId	Rating	CPI	SPI	CPI/SPI	R	RatingRel
A	3	0.6	1.0	0.6	3	Med	I	3	1.0	1.0	1.0	4	High	J	3	1.0	1.0	1.0	4	High
A	3	1.6	1.0	1.6	3	Med	I	1	1.0	1.0	1.0	4	High	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
A	3	1.0	1.0	1.0	3	Med	I	1	0.9	1.0	1.0	4	High	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
B	3	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	1.0	1.0	1.0	4	High	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
B	3	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	0.9	1.0	0.9	4	High	K	2	1.1	1.0	1.1	4	High
B	3	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	1.0	1.0	1.0	4	High	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
B	3	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	1.0	0.7	1.5	4	High	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
C	2	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	1.0	1.0	1.0	4	High	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
D	1	0.8	1.0	0.8	4	High	I	1	0.9	1.0	0.9	4	High	K	2	0.6	1.0	0.7	4	High
E	2	0.9	0.9	1.0	3	Med	I	1	1.0	1.0	1.0	4	High	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
E	2	0.9	0.8	1.1	3	Med	I	1	0.8	1.0	0.8	4	High	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
E	3	1.0	1.0	1.1	4	High	I	1	0.9	1.0	0.9	4	High	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
E	3	1.0	1.0	1.0	4	High	I	1	1.1	1.0	1.1	4	High	K	2	1.2	1.0	1.2	4	High
F	2	0.6	0.9	0.6	4	High	J	1	1.0	0.7	1.4	3	Med	K	2	1.0	1.0	1.0	4	High
G	1	0.3	1.0	0.3	5	Very High	J	1	1.0	0.3	3.4	3	Med	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
G	2	1.0	1.0	1.0	5	Very High	J	1	1.1	0.9	1.2	3	Med	K	2	0.9	1.0	0.9	4	High
H	2	0.9	1.0	1.0	5	Very High	J	3	1.0	1.0	1.0	3	Med	K	2	0.7	1.0	0.7	4	High
I	3	1.0	1.0	1.0	4	High	J	3	1.2	1.0	1.2	3	Med	L	2	0.7	0.9	0.8	2	Low
I	3	1.0	1.0	1.0	4	High	J	3	1.0	1.0	1.0	3	Med	N	2	1.1	1.0	1.2	4	High
I	3	1.0	1.0	1.0	4	High	J	3	1.0	1.0	1.0	4	High	N	1	1.1	1.0	1.1	4	High
I	3	0.9	1.0	0.9	4	High	J	3	1.2	1.0	1.2	4	High	O	1	0.4	0.7	0.5	4	High

Tabla. E-1 Datos de Campo Dra. P.Lawlis [Lawlis1995] Correlación entre Performance y SEI SW-CMM

Apéndice F Mapa Encuesta CESSI 2007

Data Item	CESSI 2007 Survey Question	Variable Name	Filter	Validación and Processing Notes
Register Id	N/A	ID		Sequential number, row id
Revenue	A.18.4	REVENUE06		Revenue during 2006
Worked Hours	A.16.2	WORKLOAD		2008 FCST 1=Up,2=Equal,3=Down Used as Income Proxy
Organization Size	A.19	N	N<500	
CMMI	G.31.2	CMMI		1=Have,2=Working,3=No
ISO	G.31.1	ISO		1=Have,2=Working,3=No
Other Certifications	G.31.3	SPIOthers		1=Have,2=Working,3=No
Ley 25922	A.3	LEY25922		1=Yes,0=No
Offshore	A.16.4	OFFSHORE		1=Up,2=Equal,3=Down,4=No
Economic Group	A.7	GE		1=Yes,2=No
<u>Current I+D Focus</u>				
Productivity	B.13.1	I+D-PROD		1=Yes,2=No
SW Quality	B.13.10	I+D-SWQUALITY		1=Yes,2=No
CycleTime	B.13.4	I+D-CT		1=Yes,2=No
Process Impr	B.13.3	I+D-PE		1=Yes,2=No
Others	B.13.5	I+D-OTHERS		1=Yes,2=No
	B.13.6			B.[13.5-9] ANDED as a single one
	B.13.7			
	B.13.8			
	B.13.9			
<u>Practices</u>				
Schedule Mgmt	G.39.1	SCHEDULE		1=Yes,2=No
Project Planning	G.39.3	PP		
Project Monitoring	G.39.2	PMC		
Estimation	G.39.4	ESTIMATION		
Risk Mgmt	G.39.5	RISKMGMT		
Investment in Quality	A.10.1.2	INV-QA		1=Yes,2=No

Tabla. F-1 Resumen de Mapa de Extracción de Datos (Survey CESSI 2007)

Apéndice G Encuesta Nacional 2008

G.1 Instrucciones de llenado:

Llene la encuesta seleccionando el rango de la columna “**Selección**” que mejor describa o represente la situación de su organización. En preguntas seleccionadas (por ejemplo preguntas 2 y 3) en caso que la respuesta sea “SI” se le solicitará informar datos adicionales en la columna “**Comentarios**”. En todo el resto de las preguntas siéntase libre de registrar en la columna “**Comentarios**” cualquier observación, acotación o referencia que encuentre útil para completar o caracterizar su respuesta.

Si hay preguntas que requieren respuestas que por su naturaleza la organización prefiere no informar (por ejemplo, por razones de política corporativa) simplemente deje la respuesta en blanco. Aunque disponer de respuestas a todas las preguntas es muy importante para el trabajo de evaluación de resultados por razones de integridad técnica las preguntas 1, 2 y 3 son requeridas como mínimo.

Las respuestas a esta encuesta son de naturaleza anónima y la información obtenida será utilizada con propósitos de caracterización estadística y no a nivel individual, si bien los resultados globales del análisis estadístico pueden ser sujetos a difusión en medios técnicos especializados las respuestas individuales serán tratadas en forma confianza.

Se describe a continuación la definición y alcance de cada pregunta incorporada a la encuesta.

Tamaño de la Organización.

Captura el tamaño de la organización en términos del staff técnico directo más áreas de soporte y gestión operativa de proyectos.

Opera con evaluación formal en modelo de referencia SEI-CMMI.

Captura el estado de evaluación bajo modelo de referencia SEI-CMM o SEI-CMMI. En caso de contestar el haber sido evaluado formalmente en nivel 2 o superior del modelo CMMI se lo invita a indicar los siguientes datos adicionales:

- Año. Año en el que obtuvo la evaluación formal indicada.
- C/S. Modelo por Etapas (S) o Continuo (C).
- I. La evaluación es bajo el modelo CMMI (tildar) o bajo el modelo SEI SW-CMM (dejar en blanco).
- Tiempo. Tiempo aproximado insumido, en meses, desde el comienzo de la iniciativa hasta la evaluación positiva.
- Esfuerzo. Esfuerzo aproximado, en meses-hombre, insumidos durante la duración del proyecto. Incluya el esfuerzo de implementación, evaluación y entrenamiento.

En caso que la empresa hubiera alcanzado su nivel corriente a partir de varias etapas (por ejemplo, primero CMMI nivel 2, luego nivel 3 y posteriormente nivel 5) se pide indicar cada ciclo por separado. En caso que para alcanzar un determinado nivel de evaluación se hubiera requerido más de un proceso de evaluación indicar tiempos y esfuerzos insumidos hasta la evaluación que otorgó el nivel objetivo.

Opera bajo certificación de normas ISO-9000

Captura el estado de certificación bajo normas ISO9000. En caso de contestar por Si (2) se lo invita a indicar los siguientes datos adicionales:

- Año. Año en el que obtuvo la certificación formalmente.
- Norma. Norma específica bajo la cual se realizó la certificación (ejemplo: ISO9000, ISO9001, ISO9001-3, etc.).
- Tiempo. Tiempo aproximado insumido, en meses, desde el comienzo de la iniciativa hasta la certificación.
- Esfuerzo. Esfuerzo aproximado, en meses-hombre, insumidos para alcanzar la certificación. Incluya el esfuerzo de implementación, certificación y entrenamiento.

Adhiere a Ley de Software 25.922

Captura si la empresa cumple con los requisitos y potencialmente podría adherir a los beneficios de la Ley de Software (25922), en caso de no saberlo indicar como respuesta “NO”.

Desarrollos para mercados Offshore

Informa si la empresa opera parcial o totalmente en mercados de exportación de servicios offshore.

Tasa de Corte Inversiones

Informa el rango de Tasa Efectiva Anual al cual se descuentan flujos de caja para evaluar inversiones.

Horizonte de Inversión en SPI (Mejora de Procesos)

Informa el horizonte de tiempo total máximo admisible para implementar la mejora de procesos y alcanzar el repago de la misma. es

Mejora de Ingresos por acceder a nuevos negocios o incrementar negocios existentes.

Informa si se ha logrado o existe un plan de mejorar ingresos como resultado de la iniciativa de mejora de procesos de software.

Mejoras de Productividad

Informa si se ha logrado/existe un plan de mejorar la productividad como resultado de la iniciativa de mejora de procesos de software.

Mejoras en Certidumbre de Proyectos

Informa si a partir de la iniciativa de mejora de procesos los plazos y/o costos tienen mayor certidumbre de cumplir los planes establecidos. Por “impacto” se entiende variación. Se interpretará como “negativo” el incremento de plazos o costos respecto de lo planeado y como “positivos” reducción de plazos o costos.

Mejoras en Imagen Organizacional

Informa si se ha logrado/existe un plan de mejorar la imagen organizacional a partir de la iniciativa de mejora de procesos de software.

Mejoras en Satisfacción del Staff

Informa si se ha logrado/existe un plan de mejorar la satisfacción del staff a partir de la iniciativa de mejora de procesos de software.

Mejoras en Satisfacción de Clientes

Informa si se ha logrado/existe un plan de mejorar la satisfacción de clientes a partir de la iniciativa de mejora de procesos de software.

Mejoras en Madurez Organizacional

Informa si se ha logrado/existe un plan de mejorar la madurez organizacional a partir de la iniciativa de mejora de procesos de software.

G.2 Cuestionario

D	Pregunta	Selección	Comentarios																														
	Tamaño de la Organización.	1. 10 personas o menos 2. Entre 10 y 25 personas 3. Entre 25 y 50 personas 4. Entre 50 y 100 personas 5. Mas de 100 personas																															
	Opera con evaluación formal en modelo de referencia SEI-CMMI.	1. No tiene nivel CMMI formalmente evaluado. 2. Nivel 2 3. Nivel 3 4. Nivel 4 5. Nivel 5	Si respuestas 2, 3, 4 y 5 fueron indicadas por favor informar también <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th><th>I</th><th>C/ S</th><th>Nivel</th><th>Tiempo</th><th>Esfuerzo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Año	I	C/ S	Nivel	Tiempo	Esfuerzo																								
Año	I	C/ S	Nivel	Tiempo	Esfuerzo																												
	Opera bajo certificación de normas ISO-9000	1 – No 2 – Si	Si la respuesta fue 2 por favor informar también: <table border="1"> <thead> <tr> <th>Año</th><th>Norma</th><th>Tiempo</th><th>Esfuerzo</th></tr> </thead> <tbody> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>	Año	Norma	Tiempo	Esfuerzo																										
Año	Norma	Tiempo	Esfuerzo																														
	Adhiere a Ley de Software 25922	1 – No 2 – Si																															
	Desarrollos para mercados Offshore	1 – No 2 – Si																															
	Tasa de Corte Inversiones	1. TEA inferior a 10% 2. TEA entre 10 y 15% 3. TEA entre 15 y 20% 4. TEA entre 20 y 25% 5. TEA superior a 25%																															
	Horizonte de Inversión en Mejoras de Procesos de Software (SPI)	1. 12 meses o menos 2. Entre 12 y 24 meses 3. Entre 24 y 36 meses 4. Entre 36 y 48 meses 5. Mas de 48 meses																															
	Expectativa de Mejora en Ingresos.	1. No hay expectativa de mayores ingresos 2. 5-10% de Incremento en Ingresos 3. 10-20% de Incremento en Ingresos 4. 20-30% de Incremento en Ingresos 5. Más de 30% de Incremento en Ingresos																															
0	Mejoras de Productividad	1. Deterioros Significativos (>10%) 2. Deterioros Observables (1 al 10%) 3. No hay modificaciones. 4. Mejoras Observables (1 al 10%) 5. Mejoras Significativas (>10%)																															
1	Mejora de Certidumbre en Resultados	1. Impacto negativo en costo/plazos. 2. Impacto neutro en costo/plazos. 3. Impacto positivo en costo/plazo.																															
2	Mejoras en Imagen Organizacional	4. No 5. Si																															
3	Mejoras en Satisfacción del Staff	1. No 2. Si																															
4	Mejoras en Satisfacción de Clientes	1. No 2. Si																															
5	Mejoras en Madurez Organizacional	1. No 2. Si																															

D	Pregunta	Selección	Comentarios
Comentarios: (incorpore aquí cualquier comentario de índole general que considere importante para ser tenido en cuenta durante el análisis de éste cuestionario).			

G.3 Glosario

Si bien la encuesta plantea consultas sobre temas y aspectos de tratamiento común y amplia difusión en el dominio de la Ingeniería de Software a los efectos de uniformar el entendimiento de las preguntas entre diversas organizaciones se expone a continuación el sentido, definición y acepción utilizada para cada término técnico utilizado en la encuesta

Esfuerzo

Esfuerzo aplicado, medido en Meses-Hombre dedicado a un determinado objetivo.

Mercados Offshore

Informa si la empresa opera parcial o totalmente en mercados de exportación de servicios de desarrollo de software a partir de recursos e instalaciones mayormente localizados en Argentina.

Imagen Organizacional

Se trata del conjunto de atributos a través de los cuales la empresa es percibida por clientes, proveedores, inversores, personal y público cuya mejora en general aumenta el valor percibido de la empresa por parte de éstos actores.

Ingresos

Ingresos por ventas de servicios de desarrollo de software netos de impactos impositivos. En caso de ser una organización que opera internamente a nivel de grupo económico o corporativa refleje como ingreso sus transferencias internas.

ISO9000

Conjunto de normas de calidad establecidos por ISO.

Madurez Organizacional

Se trata del conjunto de atributos a través de los cuales es posible percibir la claridad de la organización, la eficiencia de sus operaciones y la eficacia de la participación de los miembros de la cadena de valor interna.

Mejora de Procesos de Software

Refiere a las acciones tendientes a mejorar los procesos utilizados para la creación de software de forma tal que se mejore la productividad, la calidad o los plazos de implementación.

Productividad

Es la habilidad de realizar un desarrollo dado con una cantidad de recursos (primariamente recursos humanos) dado; en casos de incrementos implica tanto la posibilidad de hacer el mismo desarrollo con menos recursos o más cantidad de desarrollos con la misma cantidad de recursos.

Satisfacción de Clientes

Se trata del conjunto de atributos utilizados por los clientes de la organización para evaluar su satisfacción general y particular sobre el desempeño de la organización proveedora, suele incluir una combinación particular de elementos objetivos y subjetivos tales como términos y condiciones contractuales, objetivos corporativos, atributos de calidad establecidos, nivel de servicio y otros.

Satisfacción del Staff

Se trata del conjunto de atributos utilizados por los miembros de la organización para evaluar su satisfacción general y particular sobre el desempeño de la organización en su rol de empleadora, suele incluir una combinación particular de elementos objetivos y subjetivos..

SEI-CMM / SEI-CMMI

Capability Maturity Model Integrated formulado por el Software Engineering Institute de la Universidad Carnegie-Mellon.

Software Process Improvement (SPI)

Ver Mejora de Procesos de Software

Staff

Miembros de la organización formantes de las áreas del staff técnico directo, áreas de soporte y gestión operativa de proyectos.

Tasa Efectiva Anual

Tasa de interés compuesto con capitalización anual.

Tiempo

Tiempo insumido en implementar un determinado proyecto desde el momento que el mismo es lanzado hasta que se declara su finalización.

Apéndice H Análisis de rigor metodológico y relevancia.

Se utilizará en este análisis al marco propuesto por Kitchenham et al [Kitchenham2002], que define los criterios que la investigación empírica en ingeniería de software debería satisfacer. Las guías provistas revisan si se han considerado para el problema bajo estudio factores relacionados con el contexto, la solidez de los experimentos realizados, la robustez de los datos recolectados, la consistencia del análisis, la profundidad en la presentación de los resultados y, finalmente, las interpretaciones que se han hecho. Esta exploración es realizada en base a criterios para cada área a ser considerada, que son expuestos en la Tabla. H-1 mostrada a continuación.

Criterio
<i>Contexto experimental</i> <i>1. Asegurar que se especifica lo mejor posible el contexto de la industria. En particular, definir claramente las entidades, atributos y medidas que capturan la información de contexto.</i> Si, se discute en los Capítulos 2 y 3. <i>2. Si una hipótesis es verificada, establecerla claramente antes de realizar el estudio, discutiendo la teoría desde la cual se deriva de manera que sus implicaciones sean visibles.</i> Se especifican en la Sección 4.11 <i>3. Si la investigación es de tipo exploratorio, establecer claramente y previo al análisis de datos, qué preguntas de investigación se intenta abordar y cómo se lo hará.</i> En la Sección 1.4 se definen las preguntas de investigación y la metodología a emplear. <i>4. Describir las investigaciones que son similares o tienen la misma dirección que la que se lleva a cabo y cómo este trabajo se relaciona con ellas.</i> Si, se recolectan referencias relevantes en los Capítulos 2 y 3.

Diseño de experimentos

1. *Identificar la población desde la cual son extraídos los temas y objetos.*

Si, en los Capítulos 5 y 6.

2. *Definir el proceso mediante el cual los temas y objetos fueron seleccionados.*

Si, en los Capítulos 5 y 6.

3. *Definir el proceso mediante el cual los temas y objetos son asignados a tratamientos.*

No aplicable.

4. *Restringir el análisis a diseños simples, o al menos que sean analizados en la literatura.*

Los métodos utilizados se justifican con adecuadas referencias bibliográficas en los Capítulos 2, 3, 5 y 6.

5. *Definir la unidad experimental.*

Se la define en la Sección 1.6

6. *Para experimentos formales realizar un pre-experimento o un pre-cálculo que estime el tamaño de la muestra.*

Se define en detalle en la Sección 6.3.3

7. *Utilizar los niveles apropiados de tabicamiento.*

No aplicable

8. *Si no puede evitar evaluar su propio trabajo, haga explícitos los conflictos de intereses (incluyendo las fuentes de soporte) y reporte que se ha hecho para minimizar sesgos.*

No aplicable

9. *Evite el uso de controles, excepto que pueda definirlos claramente.*

No aplicable

10. *Defina completamente las intervenciones necesarias.*

Se explican en detalle los criterios de exclusión de datos en las Secciones 5.2.9 y 6.4

11. *Justifique la elección de variables resultados en términos de la relevancia para los objetivos del estudio.*

Se fundamenta en el Capítulo 2 y confirma mediante evidencia empírica en los Capítulos 5 y 6.

Conducir el experimento la colección de datos

1. Definir todas las mediciones en detalle, incluyendo entidades, atributos, unidades y reglas de conteo.

Detallado en Capítulo 5 y 6.

2. Para medidas subjetivas presente mediciones para evaluar la confiabilidad y validez.

No aplicable.

3. Describa los métodos de control de calidad usados para asegurar la completitud y exactitud de los datos colectados.

Criterios de exclusión, filtros y validaciones explicadas en las Secciones 5.2.9 y 6.4

4. Para encuestas, monitoree y reporte las respuestas obtenidas y discuta la representatividad de las respuestas y el impacto de la falta de las mismas.

Explicados en Sección 5.2.9 y 6.4

5. Para estudios experimentales, registre datos sobre temas que se eliminaron del estudio.

Explicados en Sección 5.2.9 y 6.4

6. Para experimentos, registre datos sobre otras medidas que pueden ser afectadas en forma adversa por el tratamiento de datos, incluso si no son el propósito principal del estudio.

Explicados en Sección 5.3 y 6.4.

Análisis

1. Especifique cualquier procedimiento utilizado para controlar verificaciones múltiples.

No aplicable.

2. Considere utilizar análisis ciego.

No utilizado.

3. Realice análisis de sensibilidad.

Realizado en Sección 7.5.

4. Asegure que los datos no violan las hipótesis de los test utilizados en ellos.

Realizado en Sección 7.4.

5. Aplique controles de calidad apropiados para verificar los resultados.

Realizado en Sección 7.7

Presentación de los resultados

1. *Describa o cite una referencia para todos los procedimientos estadísticos utilizados.*

Realizado en Sección 5.2.3.

2. *Reporte el paquete estadístico utilizado.*

Realizado en Sección 5.2.9 y 6.4.

3. *Presente resultados cuantitativos y niveles de confianza.*

Realizado en Capítulo 5 y 6 en cada evaluación realizada.

4. *Presente los datos sin procesar cuando sea posible. Caso contrario, confirme que están disponibles para revisión confidencial por los revisores y auditores independientes.*

Los datos utilizados son presentados en los Apéndices “C” y “E”. Los datos de la Encuesta CESSI 2007 no pueden ser incluidos debido al acuerdo de confidencialidad suscripto. Los interesados deben contactarse con dicha organización para obtener los datos.

Interpretación de resultados

1. *Definir la población sobre la cual es aplicable la utilización de modelos de predicción.*

Definido en el Capítulo 6.

2. *Diferencie entre confianza o significación estadística e importancia práctica.*

Definido toda vez que fue necesario en los Capítulos 5,6, 7 y 8.

3. *Defina el tipo de estudio.*

Definición realizada en los Capítulos 5 y 6.

4. *Especifique las limitaciones del estudio.*

Discutidos en las Secciones 5.4 y 6.11

Tabla. H-1 Criterios de Kitchenham para evaluación de robustez de la investigación [Kitchenham2002]

Resta evaluar la relevancia de las cuestiones abordadas por este trabajo de investigación. Para hacerlo, se utilizarán las recomendaciones de Benbasat et al [Benbasat1999] para mejorar la relevancia de los trabajos en el dominio de ingeniería de software. Al igual que en el caso anterior, se proponen una serie de criterios cuya satisfacción debe validarse. En este trabajo serán relacionados con la selección del tópico, propósito del trabajo, facilidad de lectura y la robustez del tratamiento; el análisis se muestra en la Tabla. H-2.

Criterio
Selección del tópico 1. <i>Futuro interés de la audiencia clave.</i> <i>El tópico de SPI en general, y de utilización de SEI-CMMI™ en particular, suscita el interés de la industria a juzgar por la intensidad de tratamiento en foros como IEEE y ACM. Pino [Pino2006] encuentra en su revisión sistemática del número de publicaciones que el número de artículos publicados en revistas de alto impacto pasó de 1 a 8 por año entre los años 1997 y 2008 en temas de SPI, de los cuales el 51% corresponden a iniciativas estructuradas alrededor de SEI-CMMI™.</i> 2. <i>Identifique los tópicos desde la práctica del desarrollo de software.</i> <i>Software Process Improvement (SPI), Calidad de Software, Modelos de Calidad.</i> 3. <i>Identifique, en una comunidad académica, los temas centrales de investigación que pueden influenciar las prácticas en el futuro.</i> <i>Adopción de SPI en PyMEs. Despliegue de SPI en Argentina. Metodologías ágiles y SPI.</i>
Propósito 1. <i>Enfóquese en el resultado más probable que pueda influenciar la práctica, más que en las entradas (desafíos académicos o intelectuales) cuando se seleccione el proyecto de investigación.</i> <i>Discutido en Sección 1.5</i> 2. <i>Desarrolle cuerpos de investigación que permitan realizar recomendaciones y ser proactivos.</i> <i>Discutido en este capítulo.</i> 3. <i>Desarrolle marcos de referencia para organizar los fenómenos y provea medios alternativos para tomar acciones de gestión.</i> <i>Discutido en Capítulos 4, 5 y 6.</i> 4. <i>Presente los resultados de la investigación de manera que los profesionales puedan utilizar para sostener decisiones relacionadas con SPI.</i> <i>Presentado en Capítulo 8.</i>

Lectura

1. Use un estilo conciso, claro y simple en la escritura.

Revisión de director de tesis y jurado.

Proceso editorial

2. Valide que se cumpla la condición de rigurosidad y relevancia.

No hay proceso editorial. Este chequeo constituye la acción tomada para realizar la validación.

Tabla. H-2 Criterio de Benbasat para la evaluación de relevancia de la investigación [Benbasat1999]

Basado en la revisión del cumplimiento de los criterios de robustez y relevancia previamente realizada, podremos sostener que este trabajo de investigación es robusto en su formulación y relevante en su contenido.