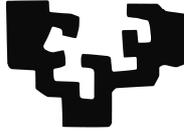


eman ta zabal zazu



Universidad del País Vasco      Euskal Herriko Unibertsitatea

**Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Facultad de Informática**

# **Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria**

Tesis presentada por  
**Iñaki Morlán Santa Catalina**

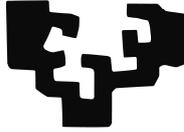
Para obtener el título de  
**Doctor en Informática**  
por la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

Dirigida por  
**Dr. D. Alfonso Davalillo Aurrecoechea**  
**Dr. D. Javier Dolado Cosín**

*Donostia - San Sebastián, septiembre de 2010*



eman ta zabal zazu



Universidad  
del País Vasco

Euskal Herriko  
Unibertsitatea

**Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos  
Facultad de Informática**

# **Modelo de Dinámica de Sistemas para la implantación de Tecnologías de la Información en la Gestión Estratégica Universitaria**

Tesis presentada por  
**Iñaki Morlán Santa Catalina**

Para obtener el título de  
**Doctor en Informática**  
por la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea

Dirigida por  
**Dr. D. Alfonso Davalillo Aurrecoechea**  
**Dr. D. Javier Dolado Cosín**

*Donostia - San Sebastián, septiembre de 2010*



*A Mamen y a Iliane.*



## Agradecimientos

Como otros muchos trabajos, esta tesis ha transitado por distintos períodos, ha conocido momentos productivos, momentos fértiles; sin embargo, también los ha habido yermos y desoladores. No obstante han sido muchas las personas que me han ayudado a recorrerlos, un pequeño gesto o un simple comentario han sido suficientes.

En primer lugar quiero agradecer a mis dos directores Alfonso y Javier, porque a pesar de vuestras muchas obligaciones habéis sacado huecos en vuestras agendas para escucharme, para instruirme, para asesorarme, para reconducirme, para entenderme, para animarme. Porque habéis comprendido mis dudas, porque me habéis hablado con franqueza, porque me habéis transmitido entusiasmo. Mi relación con vosotros trasciende a esta tesis porque, a pesar de los riesgos que entrañaba este trabajo, sigo teniendo dos amigos.

A Javier Torrealdea porque me inculaste el veneno de la Dinámica de Sistemas que ha permanecido latente durante más de dos décadas. Y porque has sido mi paradigma de profesor por esa serenidad y afabilidad que me transmitías desde la tarima.

A Lourdes Ortiz por tu hospitalidad. La estancia en el Centro de Investigación y Desarrollo de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello de Caracas fue arrechísima. Contigo aprendí a combinar Gestión del Conocimiento con Sistemas de Información y allí tuve la chance de realizar los primeros bocetos. Ya sabes, dos besos.

A Yolanda Álvarez y a Fabian Szulanski, porque mi visión de la Dinámica de Sistemas no sería la misma sin vosotros. Aunque no sea visible en la memoria habéis intervenido en momentos críticos. Gracias por saber de lo vuestro y por haberlo compartido conmigo en algún momento. Gracias porque siempre

estáis dispuestos a colaborar, a criticar y a echar una mano, con sentido común, con humor y con amistad.

A Mainer Nieto y a José Miguel Echávarri porque sin vosotros esto no hubiera existido. Juntos emprendimos la creación de la empresa de *spin-off* académico “q2K, Soluciones Informáticas en Gestión Estratégica” cuya génesis la comparte con este trabajo. No todo el mundo reúne las condiciones para convertir una idea en una realidad empresarial y gracias a vosotros he sentido lo que significa colaboración, unidad, constancia, sacrificio, riesgo, generosidad, calidad humana y, sobre todo, confianza. Gracias porque esta experiencia del emprendizaje (junto con la expedición a Roraima) es una de las aventuras más apasionantes que he vivido.

A todos los que han hecho posible el desarrollo del trabajo y que han dado soporte a los proyectos “Aplicación de Técnicas Empíricas y Herramientas Cuantitativas a la Gestión Eficaz de Proyectos Software” (MCYT TIN2004-06689-C03-01. IN2QUANT) y “Nuevas Técnicas en la Gestión de Proyectos de Ingeniería de Software” (Onproieik EHU08/40). A las vicerrectoras de la UPV/EHU que en los últimos años han creído, impulsado y dado continuidad a la serie de proyectos NautiQ, ProtoUKSA y UNIKUDE: Dña. Isabel Larrakoetxea, exVicerrectora de Innovación e Infraestructura Docente, a Dña. Itxaso Ibáñez, exVicerrectora de Coordinación y Planificación, a Dña. Nekane Balluerka, exVicerrectora de Calidad e Innovación Docente, y a la actual Vicerrectora de Calidad e Innovación, Dña. Itziar Alkorta.

A vosotros, compañeros y compañeras del Campus de Gipuzkoa que siempre habéis estado ahí preocupándoos e interesándoos por la marcha de mi trabajo, porque habéis aligerado ese sentimiento de soledad que inevitablemente acompaña a una tesis. Gracias a Terese Aizpurua, a Pilar Arana, a Rosa Arruabarrena, a Beronika Azpillaga, a Laura Espín, a Esther Torres, a Miguel Alonso, a Josean Arruza, a José Luis de la Cuesta, a Jatxi Ezkiaga, a Ángel González, a Luis Lizasoian y a Lander Sarasola, por vuestro continuo y afectuoso aliento.

A los compañeros decanos y directores de centros universitarios de Informática que siempre me habéis apoyado y animado a realizar este trabajo, de entre quienes no puedo olvidarme de Manolo González, Luis Joyanes y Ramón Puigjaner. Y muy especialmente quiero dar las gracias a anA Pont, a María Ribera Sancho, a Josep Casanova y a José Manuel Colom porque con vosotros tuve la oportunidad de conocer el verdadero significado de la palabra “equipo” cuando asumimos la redacción final del Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería Informática [ANEC04].

A Teresa Miquélez y Endika Bengoetxea con quienes comparto la docencia. Gracias por vuestro compañerismo, porque siempre me lo habéis puesto fácil para compaginar las clases con la realización de esta tesis, en especial cuando la tormenta arreciaba. Y gracias a los compañeros de la Facultad de Informática que habéis ayudado a que esto fuera posible, gracias Josemi Blanco, Ana Sánchez, Josean Vadillo, Jose Miguel y Pepe Rivadeneyra.

A Cristina Fernández y a Carlos Aguirre, gracias por vuestra amistad incondicional, porque habéis estado ahí y porque siempre habéis creído en mí. Y quisiera agradecer a las muchas personas que me han regalado su amistad, pero como dice el Gran Combo, “no hay cama pa’ tanta gente”. Pero no puedo pasar por alto el mencionar a las personas que me han animado y comprendido en estos últimos meses y que, sobre todo, le han ayudado a Mamen, mi mujer, a sobrellevar mis necesidades de concentración y de ausencia. Gracias Frede, Michael, Loreto, Jose, Encarna, Pep, Marijose, Toño P., Ana, Toño V., Belén, Asun, Leire y Naroa.

A mis hermanos, carnales y políticos: Gonzalo (gracias por esas citas), Usua y Josema, Edu y Virginia, Juanmari y Espe, Tomás y Silvia. Y gracias a esa generación alegre y revoltosa de sobrinos: Yul, Ane, Lucía, Gael y Gari. También os quiero agradecer a vosotros, Carmen y Tomás, mis suegros, por vuestra hospitalidad y por lo bien que me habéis cuidado, porque parte de esta tesis se escribió en vuestra casa, en Fuentesauco.

A mis padres, M<sup>a</sup> Carmen y Pedro José, por el hogar que me habéis dado, por vuestro ejemplo de honestidad, por vuestra comprensión, por dedicarme gran parte de vuestras vidas, porque siempre habéis confiado en mí. Y muy especialmente por la educación que me habéis dado, por fomentar el deseo de saber y porque habéis legitimado la cita atribuida a Edmondo de Amicis: “*El destino de muchos hombres depende de haber tenido o no una biblioteca en su casa paterna*”.

Y finalmente he de manifestar que todo esto no hubiera sido posible sin el apoyo emocional de mi mujer Mamen y de mi hija Iliane. La carga de la dialéctica entre la dedicación a este trabajo y la conciliación de la vida familiar, no la hubiera podido sobrellevar sin vuestra comprensión y sin vuestra generosidad.

Mila esker bihotz bihotzez.



**Modelo de Dinámica de Sistemas para la  
implantación de Tecnologías de la Información  
en la Gestión Estratégica Universitaria**

Tesis doctoral



*“Escucha, Kamala: si arrojas una piedra al agua, se precipitará hasta el fondo por el camino más rápido. Lo mismo le ocurre a Siddharta cuando se propone alcanzar una meta: Siddharta no hace nada: espera, medita, ayuna, pero atraviesa las cosas del mundo como la piedra el agua, sin hacer nada, sin moverse, dejándose atraer, dejándose caer. Su propia meta lo atrae, pues él no deja penetrar en su alma nada que pueda apartarlo del objetivo propuesto. Esto es lo que Siddharta aprendió con los samanas. Es lo que los necios denominan magia y atribuyen a la acción de los demonios. Mas nada es obra de los demonios, porque los demonios no existen. Cualquiera puede ejercer la magia y alcanzar sus objetivos si sabe meditar, esperar y ayunar”.*

*-”Siddharta”. Hermann Hesse-*



# Índice

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>13</b>
<b>ÍNDICE</b> .....	<b>21</b>
<b>PRÓLOGO</b> .....	<b>25</b>
<b>1 DESCRIPCIÓN Y OBJETIVOS DE LA TESIS</b> .....	<b>37</b>
1.1 ANTECEDENTES .....	38
1.2 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	40
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
1.3.1 Consideraciones previas .....	47
1.3.2 Hipótesis de partida .....	48
1.3.3 Objetivo general.....	48
1.3.4 Objetivos específicos.....	48
1.4 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	48
1.5 APORTACIONES Y LIMITACIONES DE LA TESIS .....	51
1.6 ESTRUCTURA DE LA TESIS.....	52
<b>2 LA DINÁMICA DE SISTEMAS</b> .....	<b>55</b>
2.1 EL ENFOQUE SISTÉMICO.....	57
2.1.1 <i>Lo bueno, si breve, dos veces bueno; y aun lo malo, si poco, no tan malo</i> .....	59
2.2 METODOLOGÍA DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS .....	60
2.2.1 Fase de identificación del problema y análisis del comportamiento .....	61
2.2.2 Fase de modelado cualitativo, o causal, del sistema .....	62
2.2.2.1 Diagrama Causal .....	63
2.2.2.2 Bucles de realimentación.....	64
2.2.2.3 Retardos.....	67
2.2.3 Fase de modelado cuantitativo.....	69
2.2.3.1 Diagramas de Forrester.....	70
2.2.3.2 Representación matemática .....	72
2.2.3.3 Simulación y ecuaciones de los modelos de Dinámica de Sistemas.....	73
2.2.4 Fase de evaluación y análisis del modelo .....	76
2.2.4.1 Qué se entiende por validación en Dinámica de Sistemas.....	76
2.2.4.2 Jerarquía de validación del modelo .....	78
2.2.4.3 Evaluación del aprendizaje.....	84

<b>3</b>	<b>BARRERAS HUMANAS A LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>85</b>
3.1	CAMBIAR.....	87
3.2	LA LITERATURA SOBRE EL FRACASO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN DEBIDO A LAS PERSONAS .....	89
3.2.1	<i>Síntomas del fracaso de las implementaciones</i> .....	90
3.2.2	<i>Causas de las barreras a la implementación</i> .....	91
3.2.3	<i>Puntos clave para el éxito de una implementación</i> .....	92
3.2.4	<i>Análisis multidisciplinar de las barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información</i> .....	94
<b>4</b>	<b>MODELOS DE INNOVACIÓN Y DE ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>101</b>
4.1	LA INNOVACIÓN COMO SISTEMA COMPLEJO.....	104
4.2	MODELO DE DIFUSIÓN DE BASS .....	107
4.2.1	<i>Visión sistémica del modelo de Bass</i> .....	109
4.2.1.1	Modelo logístico de difusión de un producto nuevo como una epidemia .....	109
4.2.1.2	Modelo Sistémico de Difusión de Bass.....	111
4.3	MODELO DE DIFUSIÓN BASADO EN DINÁMICA DE SISTEMAS DE MILLING Y MAIER 115	
4.4	TEORÍA DE LA DIFUSIÓN DE LA INNOVACIÓN DE ROGERS .....	119
4.4.1	<i>Proceso de decisión de la Innovación</i> .....	119
4.4.2	<i>Categorías de adoptadores</i> .....	121
4.4.3	<i>Curva de adopción</i> .....	122
4.4.4	<i>Caracterización de los sistemas sociales</i> .....	123
4.5	MARCO CONCEPTUAL PARA LA ADOPCIÓN DE INNOVACIONES EN UNA ORGANIZACIÓN DE FRAMBACH Y SCHILLEWAERT .....	124
4.6	MODELO DINÁMICO DE IMPLEMENTACIÓN DE INNOVACIONES DE REPENNING	127
4.6.1	<i>Bucle Refuerzo</i> .....	127
4.6.2	<i>Bucle Difusión</i> .....	128
4.6.3	<i>Bucle Presión Normativa</i> .....	129
4.6.4	<i>Comportamiento del modelo</i> .....	131
4.7	MODELO DE ACEPTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA .....	132
4.7.1	<i>Modelo de Aceptación de la Tecnología original (TAM)</i> .....	133
4.7.2	<i>Primera ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM2)</i> ....	135
4.7.3	<i>Ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología a entornos ERP</i> .....	137
4.7.4	<i>Conclusiones acerca del Modelo de Aceptación de la Tecnología</i> .....	139
4.8	MODELO DEL ÉXITO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN DE DELONE Y MCLEAN 140	
<b>5</b>	<b>VISIÓN GENERAL DEL MODELO.....</b>	<b>147</b>
5.1	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO .....	148
5.1.1	<i>Captura del conocimiento experto</i> .....	148
5.1.2	<i>División funcional del modelo</i> .....	151
5.1.3	<i>Límites del modelo e identificación de las variables clave</i> .....	153
5.2	MODELO CAUSAL .....	155
5.3	MODELO CUANTITATIVO .....	157
5.4	VALIDACIÓN DEL MODELO .....	158
<b>6</b>	<b>SECTOR DE LA MADUREZ ORGANIZACIONAL.....</b>	<b>159</b>

6.1	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO .....	160
6.1.1	<i>Correspondencia teórica del conocimiento experto</i> .....	160
6.1.2	<i>Modos de referencia</i> .....	163
6.2	MODELO CAUSAL .....	164
6.2.1	<i>Bucle 1. Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas</i> .....	164
6.2.2	<i>Bucle 2. Desmotivación por exceso de trabajo</i> .....	167
6.2.3	<i>Bucle 3. Reajuste de la Madurez</i> .....	169
6.3	DIAGRAMA DE FORRESTER.....	170
6.3.1	<i>Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez</i> .....	170
6.4	VALIDACIÓN DEL SECTOR.....	175
6.4.1	<i>Reproducción del comportamiento previsto</i> .....	175
6.4.2	<i>Análisis de sensibilidad</i> .....	178
6.5	CONCLUSIÓN.....	182
<b>7</b>	<b>SECTOR DE LA SATISFACCIÓN DE LAS PERSONAS.....</b>	<b>185</b>
7.1	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO .....	186
7.1.1	<i>Resumen del marco teórico relativo a la motivación</i> .....	186
7.1.2	<i>Correspondencia teórica del conocimiento experto</i> .....	193
7.1.3	<i>Modos de referencia</i> .....	195
7.2	MODELO CAUSAL .....	197
7.3	DIAGRAMA DE FORRESTER.....	198
7.3.1	<i>Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción</i> .....	198
7.4	VALIDACIÓN DEL SECTOR.....	203
7.4.1	<i>Reproducción del comportamiento previsto</i> .....	203
7.4.2	<i>Análisis de sensibilidad</i> .....	206
7.5	CONCLUSIÓN.....	212
<b>8</b>	<b>SECTOR DEL CONOCIMIENTO EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN .....</b>	<b>213</b>
8.1	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO .....	214
8.1.1	<i>Correspondencia teórica del conocimiento experto</i> .....	214
8.1.2	<i>Modos de referencia</i> .....	221
8.2	MODELO CAUSAL .....	223
8.2.1	<i>Bucle 4. Reducción del Salto Tecnológico por Formación</i> .....	224
8.2.2	<i>Bucle 5. Elogio de la tecnología</i> .....	227
8.2.3	<i>Bucle 6. Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción</i> .....	228
8.3	DIAGRAMA DE FORRESTER.....	229
8.3.1	<i>Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI</i> .....	230
8.4	VALIDACIÓN DEL SECTOR.....	237
8.4.1	<i>Reproducción del comportamiento previsto</i> .....	237
8.4.1.1	Bucles 4 y 5 .....	239
8.4.1.2	Bucles 4, 5 y 6 .....	244
8.4.2	<i>Análisis de sensibilidad</i> .....	246
8.4.2.1	Bucle 4.....	247
8.4.2.2	Bucles 4 y 5 .....	251
8.4.2.3	Bucles 4, 5 y 6 .....	257
8.5	CONCLUSIÓN.....	262
<b>9</b>	<b>MODELO INTEGRADO.....</b>	<b>263</b>
9.1	DIAGRAMA DE FORRESTER INTEGRADO .....	264
9.1.1	<i>Estructura del modelo</i> .....	264

9.1.1.1	Variables de nivel.....	264
9.1.1.2	Variables de flujo.....	266
9.1.1.3	Variables auxiliares.....	267
9.1.1.4	Parámetros del modelo.....	268
9.1.2	<i>Ajuste de las interfaces entre los tres subdiagramas.....</i>	270
9.2	VALIDACIÓN DE LA ARQUITECTURA DEL MODELO INTEGRADO.....	278
9.2.1	<i>Verificación de la estructura.....</i>	278
9.2.2	<i>Validación del comportamiento.....</i>	278
9.2.2.1	Reproducción del comportamiento previsto.....	279
9.2.2.2	Análisis de sensibilidad.....	279
9.2.3	<i>Confianza en la arquitectura del modelo.....</i>	294
9.3	ANÁLISIS DE ESCENARIOS.....	294
9.3.1	<i>Descripción de los escenarios.....</i>	294
9.3.2	<i>Comportamiento comparado de los escenarios.....</i>	300
9.3.2.1	Sector de la Satisfacción de las personas.....	302
9.3.2.2	Sector de la Madurez organizacional.....	304
9.3.2.3	Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información.....	306
9.4	CONCLUSIÓN.....	315
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>317</b>
10.1	SÍNTESIS DEL TRABAJO.....	318
10.2	CONTRIBUCIONES.....	322
10.3	LIMITACIONES.....	325
10.4	FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO.....	326
<b>11</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>329</b>
	<b>ANEXO 1 VARIABLES DEL MODELO.....</b>	<b>365</b>
	<b>ANEXO 2 ECUACIONES DEL MODELO.....</b>	<b>379</b>
	<b>ANEXO 3 ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>387</b>

## Prólogo

*“En muy pocos días salgo hacia la cumbre del Shisha Pangma, mi último ochomil. No sé si conseguiremos alcanzar la cumbre, pero os puedo asegurar que ilusión y ganas no nos faltan. Vamos a hacer todo lo que este en nuestras manos para completar el desafío”.*

*-Edurne Pasaban-*

*“The computer model can act as your ‘laboratory of the future’, enabling you to test the consequences of different policies and decisions before you have to commit”.*

*-Dennis Sherwood-*

Esta tesis está enfocada hacia la adopción de innovaciones en la gestión estratégica de las organizaciones universitarias por medio de tecnologías de la información. La implantación de sistemas informáticos para la gestión estratégica constituye un cambio importante para cualquier organización; sin embargo, la implementación real suele estar muy sesgada hacia los aspectos tecnológicos y se presta poca atención a la gestión de los cambios en los procesos, la estructura y la cultura de la organización.

En esta tesis se van a identificar e integrar diferentes factores que influyen en las decisiones organizacionales e individuales de adopción. Este trabajo es una oportunidad para estudiar las teorías y modelos existentes sobre la adopción y difusión de innovaciones, para comprender el comportamiento sistémico de dichos procesos de adopción así como para desarrollar un modelo dinámico que ayude a la toma de decisiones en el proceso de implantación de sistemas informáticos de alto impacto organizacional.

El modelo desarrollado en esta tesis enriquece el campo de la Informática en su aspecto más estratégico dado que recoge y conjuga importantes contribuciones y conocimientos actuales, como se verá a lo largo de la memoria, tanto en el área de la gestión de la innovación y de la introducción de tecnologías de la información, en el área de la gestión del cambio y de la gestión y aprendizaje organizativo, en el área de la motivación laboral y en el área de la Dinámica de Sistemas. Por ello este trabajo se mueve en la frontera de la Informática con disciplinas necesarias para los responsables del cambio tecnológico como Organización de Empresas y Psicología.

### **Las tecnologías de la información, materia prima de las organizaciones innovadoras**

Desde sus inicios, sólo hace medio siglo, la Informática se ha convertido en la referencia de la tecnología de nuestra época, influyendo de manera significativa en el progreso de la ciencia, de la ingeniería, de los negocios, de la cultura, del ocio y de otras áreas del quehacer humano.

A finales de la década de los ochenta veíamos cómo en muchas organizaciones cambiaba el paradigma dominante de la Informática y los ordenadores personales sustituían a los grandes ordenadores centrales. A medida que los ordenadores personales se hacían más potentes y más interconectados, se hizo más compleja su administración por lo que los usuarios demandaban la ayuda de profesionales que fueran capaces de hacer que los sistemas funcionaran en un entorno de red. Y esta tendencia hacia la Informática de sobremesa se ha acelerado con la aparición de la World Wide Web. Los ordenadores han pasado de ser máquinas de cálculo y de manejo de información a ser

elementos de comunicación con el que se puede tener acceso al mundo entero. Y, paralelamente, las aplicaciones han evolucionado desde los clásicos programas de *back-office* (gestión de facturación, de pedidos, de almacenes,...) hacia soluciones para la ayuda a la toma de decisiones estratégicas en entornos colaborativos vía web. Los navegadores web son la principal razón de peso para que la mayoría de las personas usen un ordenador y la aceptación general de la WWW por parte de la sociedad ha creado una gran demanda de servicios y contenidos basado en la web. Este rápido crecimiento de nuevos tipos de herramientas como el comercio electrónico, las comunicaciones inalámbricas o las tecnologías Web 2.0 está colocando a las organizaciones ante el reto de desarrollar nuevos modelos de negocio que trascienden los límites de la propia organización.

En este contexto las redes de ordenadores personales se han afianzado como la columna vertebral de las organizaciones. Los ordenadores se han convertido en parte integrante del entorno de trabajo, son utilizados en todos los niveles de las organizaciones y se les considera un elemento esencial de la gestión de las mismas. Debido a este aumento del protagonismo de las tecnologías informáticas, las organizaciones manejan más información que nunca. Los problemas de gestión de la información son cada vez más complejos y el uso adecuado de la información y de la tecnología como apoyo a la existencia de las organizaciones ha devenido una cuestión crucial. Y estos factores hacen que los sistemas de información crezcan en tamaño, complejidad e importancia.

Pero esta mejora de la productividad ha generado efectos laterales como que el aumento de la dependencia de las tecnologías de la información en los puestos de trabajo puede llegar a limitar la capacidad de las personas para realizar su cometido. Los responsables informáticos tienen que asumir la nueva tarea de garantizar, no sólo que la infraestructura informática de las organizaciones sea la adecuada, sino que, además, las personas de la organización tengan satisfechas sus necesidades y sus dudas relacionadas con las tecnologías de la información. Y es aquí donde tiene su razón de ser esta tesis.

La introducción de un sistema de información para la gestión estratégica sitúa a la organización y a las personas en condiciones de tomar una decisión de adopción de una innovación. Y aunque se dedican muchos recursos a los aspectos técnicos de las innovaciones, el fracaso de la implementación se atribuye en gran medida a cuestiones relacionadas con las personas más que a errores técnicos [KLEI01]. La adopción de innovaciones implica modificar la conducta humana y la aceptación de un cambio. La introducción de cambios en una organización es difícil porque puede producir ansiedad y resistencia en los directivos y en el personal por diferentes razones como la pérdida de poder

o de *status*, los cambios en la naturaleza del trabajo, el cambio en las relaciones interpersonales o la incertidumbre laboral.

Como se verá a lo largo de este trabajo, la adopción de una nueva tecnología no se produce de forma natural, sino que es el resultado de un proceso complejo. Es importante reconocer este hecho y hacer un esfuerzo en generar información que sea concisa, clara y procedente para asegurarse de que llegue a las personas implicadas. Y para conseguir una gestión eficaz de la innovación y del cambio es necesario que los responsables de liderar la introducción de sistemas informáticos innovadores en la gestión en una organización, además de competencias técnicas, dispongan de un amplio espectro de competencias sociales y emocionales.

A pesar de los intentos por identificar los factores determinantes del éxito de las implementaciones tecnológicas, entre el 65% y el 75% de las iniciativas con tecnologías de la información son consideradas fracasos [HONG02]. Además, hasta la fecha, ha habido pocos intentos sistemáticos para identificar las conductas y actitudes humanas comúnmente asociados con el fracaso de la implementación de tecnologías de la información.

### **La universidad ante el reto estratégico del nuevo Espacio Europeo de Educación Superior**

Por otro lado, tenemos que tener presente el contexto global donde surge esta tesis. La Unión Europea está envuelta en un proceso de adaptación y convergencia de las universidades cuyo principal objetivo es la creación de un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) común. El objetivo último es aumentar la compatibilidad y la comparabilidad de los sistemas universitarios, encontrando el equilibrio entre diversidad y unidad, esto es, permitiendo que se mantenga la diversidad de los sistemas nacionales en términos de cultura, lenguas y objetivos, a la vez que se mejora la transparencia entre los sistemas de educación superior. Este proceso comenzó en 1998 con la Declaración de la Sorbona y se ha ido perfilando en diferentes declaraciones de ministros en las que se han ido definiendo las líneas de actuación de los países firmantes. En la Cumbre de Ministros Europeos de Educación celebrada en Bolonia (2001) se establecieron los principios clave: un sistema fácilmente comparable de reconocimiento de títulos y competencias, una estructura de los estudios universitarios basada en dos ciclos, promoción de la cooperación europea y de la calidad educativa. Posteriormente, en sucesivas cumbres bianuales se ha ido analizando la fortaleza del proceso y de la dimensión europea de la Educación Superior, se ha tenido en cuenta la coordinación con terceros países y se ha debatido la importancia estratégica de la formación a lo largo de la vida.

Esto implica importantes cambios para el sistema universitario español. Por un lado, vamos a pasar de un modelo *top-down*, donde cada titulación venía enmarcada por una serie de directrices que definían unívocamente tanto la denominación como la estructura comunes a toda España, a un enfoque *bottom-up*, en el que cada titulación es sometida a evaluación externa por la que la universidad correspondiente es acreditada a impartirla. Esto implica un cambio radical en el enfoque y en la cultura de las universidades hacia un nuevo escenario en donde van a tener que ser evaluadas.

Otro cambio es la formación en competencias como base para uno de los principios fundamentales de la construcción europea que es la libre circulación de trabajadores. La noción de competencia pretende mejorar la relación del sistema educativo con el productivo con el objetivo de impulsar una adecuada formación de profesionales y mejorar la empleabilidad, ya que el actual sistema educativo se caracteriza por proporcionar a las personas un conocimiento con un carácter fundamentalmente teórico, mientras que tradicionalmente el sistema productivo ha requerido el desarrollo de capacidades y habilidades prácticas. El modelo educativo por competencias, es el lugar donde ambos mundos convergen y significa una revolución de los sistemas de formación. Esto ha supuesto la creación de un modelo nuevo de equivalencias y reconocimiento de los estudios que ha originado el Sistema Europeo de Transferencia y Acumulación de Créditos o ECTS<sup>1</sup>. Este sistema del crédito europeo se basa en la utilización de principios compartidos de transparencia y confianza mutua, así como de documentos con formatos normalizados.

Un tercer desafío, consecuencia de lo anterior y que realmente no forma parte de ninguna de las diferentes declaraciones del Proceso de Bolonia, es la propuesta de cambio del modelo de docencia donde el estudiante debe ser el centro del sistema educativo. El objetivo es pasar de la Universidad de la Enseñanza a la Universidad del Aprendizaje, de una universidad en la que el profesor ocupa un lugar central, casi exclusivo, a una universidad en la que el papel y la actuación de los alumnos en su formación resultan fundamentales.

En definitiva, los cambios organizativos y metodológicos derivados de la convergencia de los estudios universitarios, implican nuevos retos y nuevas demandas por parte de los miembros universitarios. De cara a afrontar estos retos, la comunidad universitaria necesita una estrategia bien fundamentada. Un número significativo de universidades están eligiendo el modelo europeo

---

<sup>1</sup> El término ECTS proviene del programa de intercambio y movilidad de estudiantes y profesores universitarios, Erasmus y significa *European Credit Transfer System*. Actualmente se define como *European Credit Transfer and Accumulation System*, donde se ha añadido el concepto de acumulación de dichos créditos, si bien se mantiene el acrónimo originario ECTS.

de excelencia de EFQM<sup>2</sup> (*European Foundation for Quality Management*, Fundación Europea para la Gestión de la Calidad) y de acuerdo a esta referencia de gestión, deben implementar su misión y visión desarrollando una estrategia dirigida a los grupos de interés. Y, más aun, quienes gobiernan la universidad tienen que alinear a toda la organización para que trabaje en la misma dirección.

Desafortunadamente, las universidades son organizaciones enormes y complicadas. Un ejemplo particular es nuestra universidad, la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), que tiene una de las ofertas formativas más amplia de España con más de 100 títulos oficiales de grado y postgrado. Se compone de una treintena de centros universitarios, distribuidas en tres campus distantes geográficamente -Araba, Bizkaia y Gipuzkoa-; atiende a más de cuarenta mil estudiantes con más de tres mil quinientos profesores y un personal de administración y servicios que supera las mil seiscientas personas.

En este contexto se considera una acción estratégica clave el implementar sistemas de información para la gestión estratégica tanto de la universidad como de sus diferentes servicios y centros universitarios. En este sentido la UPV/EHU ha impulsado varias iniciativas de cara a implantar un sistema de gestión de calidad en cada centro universitario que armonice su planificación estratégica con una gestión por procesos dentro del marco del modelo de excelencia EFQM aprovechando las ventajas de las tecnologías de la información. En los años 2004 y 2005 el Dr. Davalillo dirigió el proyecto “NautiQ, Espacio Virtual de Trabajo Colaborativo para la Gestión por Procesos en la Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas Navales de la UPV/EHU” del que formó parte el autor de esta tesis, y que consistió en el desarrollo de una aplicación informática que proporcionaba un espacio de trabajo colaborativo para administrar vía web el Sistema de Gestión por Procesos de la Escuela con objeto de agilizar, mejorar, centralizar, unificar la información y proporcionar a los diferentes usuarios un entorno de trabajo web colaborativo.

Posteriormente y con carácter más estratégico, en primavera del año 2006 la UPV/EHU encarga al profesor Davalillo la coordinación del denominado “Grupo de Procesos” -del que también forma parte el autor- con idea elaborar una guía de gestión de los centros universitario basada en la gestión por procesos que recoja los procesos comunes a todos los centros estableciendo sus procedimientos generales y una batería de indicadores asociados a dichos procesos para poder generar las comparaciones necesarias y definir un entorno

---

<sup>2</sup> <http://www.efqm.org/>.

donde la mejora continua fuera posible. En el mes de noviembre de 2008 se presenta la “Guía para la dirección de un centro universitario basada en la gestión por procesos” [DAVA08]. En paralelo y con objeto de trasladar y ampliar los resultados del proyecto “NautiQ” a otro centro universitario de características y especificidades diferentes, en otoño del año 2006 se lanzó el proyecto “proto-UKSA<sup>3</sup>, Estudio de un Espacio Virtual para la Gestión por Procesos de Centros Universitarios de la UPV/EHU bajo el modelo EFQM aplicado en la Facultad de Psicología”, con idea de realizar un análisis completo de las características funcionales de los diferentes sistemas de información que existen en la gestión por procesos de los distintos centros de la UPV/EHU siguiendo el modelo de excelencia europeo y de desarrollar un prototipo funcional que permita validar las especificaciones funcionales capturadas.

Estas acciones son la base de un proyecto actual de mayor envergadura, UNIKUDE<sup>4</sup>, que en el momento de redactar esta memoria está en fase de pruebas y cuya implantación comienza en el curso 2010/2011. UNIKUDE es un sistema informático para administrar vía web tanto el sistema de gestión por procesos como la planificación estratégica de los centros universitarios de la UPV/EHU. Este sistema no sólo va a facilitar la gestión uniforme y coherente de los centros y de la propia universidad, sino que va a generar la documentación necesaria y homogénea para la certificación AUDIT<sup>5</sup> y para el seguimiento de los títulos por parte de UNIQUAL<sup>6</sup>.

El modelo que se propone en esta tesis debe facilitar una base para el análisis y la planificación de los procesos de implantación de nuevos sistemas informáticos para la gestión estratégica de los centros de la UPV/EHU, en nuestro caso concreto, y para de sistemas informáticos innovadores de gran impacto y/o dimensión en administraciones públicas en general.

Sin embargo, la UPV/EHU con su tamaño y con esa estructura distribuida pertenece al conjunto de los sistemas dinámicos complejos. Estos sistemas son imprecisos porque son redes con múltiples elementos interrelacionados con

---

<sup>3</sup> UKSA es un acrónimo de *Unibertsitate Kudeaketarako Sistema Aurreratua*, que traducido del euskara significa Sistema Avanzado para la Gestión Universitaria.

<sup>4</sup> UNIKUDE viene de *UNibertsitate-KUDEaketa*, que en castellano significa gestión universitaria.

<sup>5</sup> AUDIT es un programa definido por la ANECA (Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación) que pretende orientar en el diseño de los Sistemas de Garantía Interna de Calidad (SGIC) de los centros universitarios que además contiene elementos transversales dirigidos al conjunto de la universidad. Al mismo tiempo es una herramienta que contribuye al reconocimiento y certificación de los SGIC implantados por los centros universitarios españoles.

<sup>6</sup> UNIQUAL es la Agencia de Evaluación de la Calidad y Acreditación del Sistema Universitario Vasco adscrito al Departamento de Educación, Universidades e Investigación del Gobierno Vasco y cuya misión es garantizar la mejora continua del citado sistema con el fin de ser un referente dentro del Espacio Europeo de Educación Superior.

numerosos lazos de realimentación y dependencias no lineales. El modelo debe ser capaz de manejar sistemas de tal complejidad a la vez que tiene que ser manejable por los gestores de las organizaciones para que cumpla su función de ayuda a la toma de decisiones. Para diseñar nuestro modelo utilizamos la Dinámica de Sistemas que es una disciplina que facilita el modelado cuantitativo del comportamiento de las variables principales de un sistema a lo largo del tiempo. Un modelo sistémico representa la dinámica de las principales estructuras de realimentación del sistema y su simulación muestra la respuesta del mismo ante distintas políticas de actuación.

### **En el laberinto de la profesión informática y su formación universitaria**

El desarrollo y redacción de esta tesis ha coincidido con uno de los períodos más intensos del debate del reconocimiento y regulación de la profesión del Ingeniero en Informática, así como de la definición de las competencias que permitirán el acceso a la profesión. El 4 de agosto de 2009 se publicaba el acuerdo del Consejo de Universidades por el que se establecen las recomendaciones para la solicitud de los títulos universitarios oficiales vinculados con el ejercicio de la profesión tanto de Ingeniero en Informática como de Ingeniero Técnico en Informática. Los primeros se asocian a las enseñanzas universitarias oficiales de Máster y las segundas a las de Grado.

Entre las competencias que se deben certificar para la obtención de la titulación oficial de Máster que permita el acceso a la profesión de Ingeniero en Informática se reconoce la necesidad de formación en Dirección y Gestión. A su vez para el título oficial de Grado asociado al Ingeniero Técnico en Informática, se debe cursar al menos un 20% de la formación de una de las siguientes tecnologías específicas<sup>7</sup>: Ingeniería del Software, Ingeniería de Computadores, Computación, Sistemas de Información o Tecnologías de la Información.

Estas cinco especializaciones coinciden con las propuestas de ACM<sup>8</sup>. Durante el proceso de desarrollo del CC2001 (*Computing Curricula 2001*) [ACM01], quedó claro que la considerable expansión de la Informática durante la década de los noventa había hecho que dejara de ser razonable producir informes conjuntos para las disciplinas informáticas que existían hasta entonces bajo un único epígrafe común de *Computer Science*<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Curiosamente, en España se ha optado por un Grado con especialidades y un Máster común, en lugar de crear un *corpus* común a la profesión en el Grado y dejar la especialización para el Máster.

<sup>8</sup> *Association for Computing Machinery*: <http://www.acm.org/>.

<sup>9</sup> Hasta la década de los ochenta se hacía la correspondencia entre *Computer Science* y Licenciatura en Informática. Desde la creación de la Ingeniería en Informática (y desaparición de la Licenciatura), el término *Computer Science* se asoció al área de Ciencias de la Computación; si bien es cierto que en algunos foros se ha defendido la equivalencia con Ingeniería en Informática. De hecho en el “Future

En dicho informe CC2001 se proponía la elaboración de cuatro volúmenes independientes para las disciplinas que integraban la Informática en aquel entonces: Ciencias de la Computación (*Computer Science*), Sistemas de Información (*Information Systems*), Ingeniería de Computadores<sup>10</sup> (*Computer Engineering*) e Ingeniería del Software (*Software Engineering*). Pero también se predijo que surgirían con el tiempo nuevas disciplinas informáticas y, en efecto, desde la publicación del CC2001, ha aparecido una nueva disciplina denominada Tecnologías de la Información (*Information Technology*) que cuenta ya con su propio volumen [ACM08]. Esta especialización responde a la forma en que la Informática ha madurado para hacer frente a los problemas actuales. La Ingeniería de Computadores había consolidado su condición de disciplina independiente de la Ingeniería Electrónica. La Ingeniería del Software había aparecido para hacer frente a los importantes retos inherentes a la construcción de aplicaciones fiables y asequibles. La disciplina Tecnologías de la Información surge para llenar el vacío que las demás disciplinas de la Informática no abordaban adecuadamente.

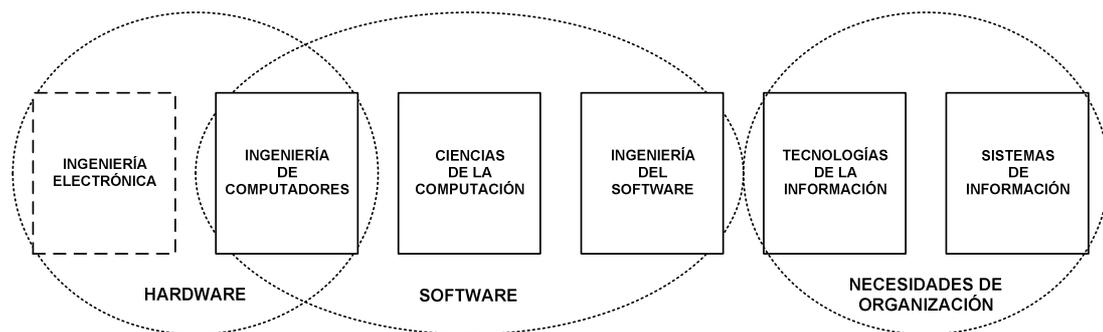


Figura 1. Las disciplinas informáticas.  
Fuente: [ACM05] adaptado por el autor.

En la Figura 1 podemos ver gráficamente el panorama actual de las disciplinas informáticas. El área del hardware lo cubren tanto la Ingeniería Electrónica como la Ingeniería de Computadores. Esta ingeniería trabaja en el hardware y en el software relacionado con el diseño de dispositivos digitales. A su vez, las disciplinas Ingeniería de Computadores, Ciencias de la Computación e Ingeniería del Software ofrecen diferentes enfoques para el desarrollo de software. Como hemos indicado, la Ingeniería de Computadores se orienta hacia el software para dispositivos; el énfasis de la Ingeniería del Software

---

of Computing Education Summit” de 2009 organizado por ACM (ver nota al pie de página<sup>12</sup>), se insistió en que “*Computer science is a space within computing, and should not be used as a term to describe the whole space of computing*”.

<sup>10</sup> *Computer Engineering* se suele ver traducido como Ingeniería en Informática, pero en opinión del autor, dada la polisemia del término castellano y dada la confusión existente al respecto, es más acertado traducir esta disciplina como Ingeniería de Computadores y mantener Ingeniería en Informática para la profesión y para la titulación universitaria en proceso de extinción en el momento de la redacción de esta tesis.

radica en crear software robusto y de calidad que satisfaga los requisitos del mundo real; y las Ciencias de la Computación utilizan el software como medio para expresar ideas y problemas de computación.

Las dos disciplinas de Sistemas de Información y de Tecnologías de la Información se centran en resolver los problemas de gestión de organizaciones de cualquier tipo. Aunque ambas estudian el software y el hardware, ni una ni otra disciplina los profundiza, sino que utilizan la tecnología como instrumento fundamental para manejar las necesidades de organización. Mientras que los Sistemas de Información se centran en la generación y uso de la información, las Tecnologías de la Información se centran en garantizar que la infraestructura de la organización sea adecuada, fiable y que funcione.

Con el uso de las soluciones informáticas como medio de comunicación y de participación en la toma de decisiones en las organizaciones, las disciplinas informáticas de Sistemas de Información y de Tecnologías de la Información van ganando importancia.

Hoy en día existe un perfil profesional del Ingeniero en Informática que se mueve entre estas dos disciplinas propuestas por ACM más cercanas a las necesidades de la organización. Este profesional tiene que asegurar que las necesidades de gestión de la información y del conocimiento de las organizaciones se satisfagan con el desarrollo y la implantación de soluciones informáticas. Debe conocer la estrategia empresarial, debe estar al día de las tendencias y tecnologías del sector informático, debe tener capacidad para participar en la planificación del negocio, el análisis de las necesidades empresariales y la evaluación de los riesgos comerciales. Va a actuar también como consultor interno, trabajando con las distintas áreas de una organización y ofreciendo asesoramiento y orientación sobre cómo facilitar las operaciones haciendo un uso eficaz de las tecnologías de la información. Debe dirigir el diseño de soluciones de sistemas informáticos con los productos de hardware y software disponibles. Tendrá que trabajar en equipo con expertos de otras áreas para ofrecer soluciones completas. Es corresponsable de los resultados de la organización y es evaluado por ello. Forma parte de los equipos directivos o, en el caso de ser profesional independiente, será un consultor externo altamente especializado en tecnologías de la información [ANEC04].

Esto lo podemos ver recogido entre las competencias que deben adquirirse en un Máster en Informática que permita acceder a la profesión informática de mayor responsabilidad, Ingeniero en Informática, que se engloban bajo el módulo de Dirección y Gestión<sup>11</sup>:

---

<sup>11</sup> BOE Núm. 187 de 4/08/2009 Sec. III Pág. 66699 a 66710.

- Capacidad para la integración de tecnologías, aplicaciones, servicios y sistemas propios de la Ingeniería Informática, con carácter generalista, y en contextos más amplios y multidisciplinares.
- Capacidad para la planificación estratégica, elaboración, dirección, coordinación, y gestión técnica y económica en los ámbitos de la ingeniería informática relacionados, entre otros, con: sistemas, aplicaciones, servicios, redes, infraestructuras o instalaciones informáticas y centros o factorías de desarrollo de software, respetando el adecuado cumplimiento de los criterios de calidad y medioambientales y en entornos de trabajo multidisciplinares.
- Capacidad para la dirección de proyectos de investigación, desarrollo e innovación, en empresas y centros tecnológicos, con garantía de la seguridad para las personas y bienes, la calidad final de los productos y su homologación.

Asimismo en el “*Future of Computing Education Summit*”<sup>12</sup> organizado por ACM en Washington DC los días 25 y 26 de junio de 2009 se debatió sobre el perfil del profesional de la Informática. La cumbre estuvo centrada en la preocupación por la falta de atractivo de las carreras informáticas, en especial en el colectivo de mujeres y de las minorías desfavorecidas y por la inquietud ante el futuro de dichas carreras por la falta de innovación. Se profundizó en cuáles debían ser las características que deben identificar al profesional de la Informática, partiendo de la idea de que “Informática no es sólo programación”. En dichos trabajos se concluía que las competencias que caracterizaban a la Informática eran el pensamiento y modelado algorítmicos, la estructuración de datos e información, la capacidad de resolución de problemas y las habilidades interpersonales y sociales. Entre los debates se insistió en que era importante acentuar la formación en habilidades interpersonales y sociales porque la Informática supone la creación de soluciones para las personas y que en muchas ocasiones conllevan aspectos humanos y éticos como la seguridad informática, el robo de identidades o el fraude.

En este terreno que comprende las competencias tanto organizacionales como personales que deben acompañar al Ingeniero en Informática, es donde esta tesis enfoca su interés y aportaciones.

---

<sup>12</sup> <http://www.acm.org/education/future-of-computing-education-summit>.



# 1 Descripción y objetivos de la tesis

*“The White Rabbit put on his spectacles. 'Where shall I begin, please your Majesty?' he asked.*

*'Begin at the beginning,' the King said gravely, 'and go on till you come to the end: then stop'”.*

*-“Alice’s Adventures in Wonderland”, Lewis Carroll-*

*“Finding simplicity in complexity is the driving force behind scientific modelling processes”.*

*-Hördur V. Haraldsson-*

## 1.1 Antecedentes

Como ya hemos reseñado en el prólogo, el desarrollo del proyecto “NautiQ” ha resultado significativo porque ha desvelado un problema que no estaba previsto cuando se planteó. Este proyecto surgió en un centro de referencia como la Escuela Técnica Superior de Náutica y Máquinas Navales (ETSNMN) de la UPV/EHU. La ETSNMN, emplazada en el pueblo de Portugalete en la provincia de Bizkaia del País Vasco, es un centro con raigambre pues su primer plan de estudios data de 1739 pero además es uno de los centros pioneros de la UPV/EHU en la implantación de modelos de gestión de calidad, prueba de ello es que el 17 de noviembre de 2003, recibió de AENOR<sup>13</sup> la certificación ISO 9001:2000<sup>14</sup> siendo el alcance de la certificación el Diseño y Formación en las Titulaciones Oficiales que se impartían en el citado centro universitario en aquel momento. Ha sido el primer centro educativo de nivel superior del Estado Español en obtener la referida certificación en el proceso de docencia, que no hace falta explicar que es el proceso clave de su actividad.

Con esta experiencia en gestión de calidad y búsqueda de la excelencia organizativa, se propuso el desarrollo de dicho sistema de gestión vía web según el modelo ISO 9001:2000 que se ha denominado “NautiQ”. Nos encontramos ante un centro que trabajaba para liderar el proceso de introducción de nuevas formas de gestión en la universidad y que intentaba ser innovadora en la implantación de nuevas tecnologías asociadas a un sistema de gestión de calidad; y todo ello con el impulso del entonces Responsable de Calidad de la ETSNMN, actual Director de la Cátedra de Calidad de la UPV/EHU y uno de los dos directores de esta tesis, el profesor Alfonso Davalillo. Sin embargo, a pesar de preverse un contexto adecuado para el éxito, la implementación de dicho sistema fracasaba. Se observó que el sistema desarrollado no era utilizado. Se detectó que existía un salto tecnológico que afectaba a una parte significativa del personal, donde la edad media de los profesores era alta. Es decir, existía un grupo de profesores que tenía problemas, o prejuicios, con el uso de sistemas informáticos [MORL04].

Se conocía la inevitable y previsible resistencia al cambio y se sabía que la implantación de técnicas de gestión de calidad en el sector servicios era más dificultosa que en el sector industrial, dado que un servicio no es un objeto

---

<sup>13</sup> AENOR es una entidad privada española sin ánimo de lucro, dedicada a la normalización y la certificación en todos los sectores industriales y de servicios.

<sup>14</sup> La norma ISO 9001:2000 es un modelo de gestión de la calidad para una organización con un enfoque en procesos, satisfacción del cliente y mejora continua. En noviembre de 2008 se aprobó la cuarta versión de la norma, ISO 9001:2008.

tangible. Se era consciente de que las inversiones en nuevas tecnologías tenían impactos organizativos, ya que se había superado la paradoja de Solow<sup>15</sup>, según la cual a pesar del uso extensivo de las tecnologías de la información no parecían haber tenido un impacto notable sobre la productividad. Además se era consciente de que las tecnologías informáticas eran una oportunidad de desarrollar sistemas de gestión orientados hacia la excelencia basado en el paradigma de las comunidades virtuales y que sirvieran de facilitadoras de la gestión del conocimiento. Esto combinado con modelos de gestión avanzados en un centro de referencia como la ETSNMN era una oportunidad de innovación que invitaba a realizar el esfuerzo. Consecuencia de ello se trabajó en mejorar la comunicación interna y en facilitar la formación, todo ello bajo ese marco favorable originado por la obtención del reconocimiento de la ISO 9001:2000. Y sin embargo, la adopción de tecnologías informáticas como apoyo a la puesta en marcha de sistemas de gestión estratégica avanzados se había convertido en una barrera. La introducción de innovaciones, como son las soluciones web para la creación de espacios de trabajo colaborativos de apoyo a la gestión universitaria, estaba añadiendo complejidad al sistema y en consecuencia, estaba reduciendo la motivación de las personas.

Esto hizo que surgieran una serie de cuestiones y dudas:

- ¿Qué ha ocurrido? ¿Era esto previsible? ¿Y puede ser evitable?
- ¿Es la primera vez que ocurre? ¿Existen casos similares documentados? Y si así fuera, ¿cuáles son los tipos de fracasos de implementación más frecuentemente referidos?
- ¿Qué factores inciden en el fenómeno o fenómenos similares? ¿Qué factores motivan o desmotivan la adopción de nuevas tecnologías?
- ¿Cuáles son las barreras, humanas u organizativas, a la implantación de nuevas tecnologías más frecuentemente referidas?
- ¿Existen áreas de conocimiento que se han ocupado del tema? ¿Qué dice la literatura? ¿En qué barreras están más preocupadas estas disciplinas? ¿Qué recomendaciones se proponen para evitar que surjan estas dificultades?
- ¿Qué ayudas tienen los líderes de las organizaciones para garantizar que el rechazo no se produzca o, al menos, para mitigarlo?

---

<sup>15</sup> Robert M. Solow, Premio Nobel de Economía en 1987, estableció en los años ochenta el aforismo “*You can see the computer age everywhere but in the productivity statistics*”. [SOLO87]; si bien esta máxima ha sido criticada como se puede consultar a modo de ejemplo en [TRIP99].

- ¿Existen modelos que permitan anticiparlo? ¿De qué naturaleza son estos modelos? ¿En qué variables o enfoques inciden?
- ¿La resistencia al cambio depende directamente de la ausencia de determinados factores o valores? ¿Es algo tan determinista o responde a mecanismos más complejos, más sistémicos y por ende menos intuitivos?

De estas cuestiones consecuencia de la contradicción que suponía la introducción de nuevas tecnologías en los sistemas de gestión avanzados, que ha devenido un obstáculo a la implantación de dichos sistemas, surgió la idea de elaborar un modelo dinámico que nos ayude a entender y a prevenir las diferentes barreras en la adopción de nuevos modelos de gestión basados en nuevas tecnologías de la información, modelo que ha devenido en la razón de ser de esta tesis.

## **1.2 Justificación de la investigación**

Las tecnologías de la información se han convertido en una parte esencial de la operativa de las organizaciones. Mientras que la literatura es prolífica en el estudio de sistemas tecnológicos implantados con éxito, la realidad es que la mayoría de las tentativas de introducir nuevas tecnologías en organizaciones encuentra su fin antes de que se pongan completamente en marcha o muy poco después. En la segunda mitad de los 90, más del 60% de las empresas *Fortune 1000*<sup>16</sup> decidieron implantar sistemas informáticos de gestión empresarial, a menudo siguiendo ese “espíritu olímpico” en el uso de las tecnologías informáticas que caracterizó esa época sin otro enfoque que el de “no quedarse atrás” y que “lo importante era participar”. Paradójicamente, ya que los beneficios potenciales de estos sistemas eran prácticamente auto-justificativos, muy pocos parece que fueran capaces de transformar este potencial en valor [DAVE02, HITT02, HOWU04].

Aunque la mayoría de las veces, los costes de planificación y de implementación se destinan a aspectos técnicos, el que falle la tecnología introducida no es la razón del fracaso. A menudo, hay que culpar al aspecto humano de la gestión del cambio y de la adopción de la tecnología [KLEI01]. El hecho destacable es que, en general, el fracaso no puede atribuirse a la falta de esfuerzo de implementación, sino que las organizaciones experimentan dificultades en sus intentos de aprovechar las oportunidades que se presentan debido a los adelantos tecnológicos [REPE02]. La combinación de las prisas en una tecnología compleja junto con el gran impacto que tienen los sistemas

---

<sup>16</sup> La revista norteamericana *Fortune* publica anualmente la lista de las mil empresas estadounidenses más grandes clasificadas por volumen de negocios, que se conoce como *Fortune 1000*.

informáticos de gestión empresarial en las organizaciones, proporcionan un terreno fértil para problemas complejos [HEIJ07].

Como adelantábamos en el prólogo, los gestores de las universidades europeas tienen que afrontar los retos que plantea el Proceso de Bolonia cuyo objetivo es establecer un Espacio Europeo común de Enseñanza Superior, lo cual implica cambios metodológicos y organizativos. Para ello son necesarios enfoques estratégicos claros con el apoyo de herramientas que no sólo ayuden a su gestión, sino a la transmisión y alineamiento de dicha estrategia creando confianza en los grupos de interés. Por otro lado, los sistemas informáticos de esta naturaleza, en sí mismos, tienen un impacto grande en una organización. Son sistemas transversales a la misma y su implementación implica a diversos grupos de interés, a menudo en ubicaciones geográficas dispersas. Su implementación es arriesgada debido a la necesidad de grandes inversiones y casi siempre son paralelos a una reingeniería de procesos. Al mismo tiempo, se espera que el nuevo sistema informático ayude a proporcionar una visión unificada de la organización.

Esto hace que se creen grandes expectativas entorno a las nuevas aplicaciones informáticas de gestión porque prometen una integración sin fisuras de toda la información que fluye a través de la organización. Y a pesar de las grandes inversiones, el retorno no suele ser satisfactorio. El sistema no proporciona el valor esperado, o alcanza este nivel de valor deseado con lentitud, o se produce una combinación de ambos. El impacto de los sistemas de gestión organizacional es tan grande, que implementaciones fallidas pueden ser contraproducentes. Los gestores de una organización no desean tomar una mala decisión de inversión y, menos aún, poner en peligro el futuro de toda ella.

Algunas de las causas de tales fracasos residen en los enormes desafíos técnicos de la implantación de sistemas de gestión estratégica. Estos sistemas son altamente complejos y su instalación requiere grandes inversiones de dinero, tiempo y experiencia. Pero estos desafíos técnicos, a pesar de ser elevados, no son la razón principal de que fallen los sistemas informáticos de gestión. Los mayores problemas son los propios de la organización debido a los cambios que entrañan. Para conseguir su éxito, también tienen que ser abordados otros aspectos tales como el sistema de gestión de procesos, las competencias sociales y la cultura organizacional. A pesar de que esta idea no es nueva, cuando se analiza detenidamente el alcance de los sistemas informáticos de gran impacto organizacional, los responsables de tomar decisiones a menudo fracasan al no darse cuenta de la trascendencia y magnitud de estos proyectos, simplemente porque lo enfocan como un

proyecto más de tecnologías de la información [DAVE02, HITT02, DAVE04, HAWK04, HEIJ07].

Si además observamos el entorno concreto de donde surge esta tesis, podemos ver que la complejidad no se reduce, sino todo lo contrario. Una universidad con una estructura como la de la UPV/EHU pertenece a la clase de los sistemas complejos. Dichos sistemas están altamente interconectados, son confusos ya que consisten en numerosos componentes interdependientes, son dinámicos y están involucrados múltiples procesos de realimentación y relaciones no lineales. Esto nos trae a colación el proverbio chino que el meteorólogo del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), Edward Lorenz, bautizó como “Efecto Mariposa”: “El aleteo de una mariposa se puede sentir al otro lado del mundo”. Es decir, un cambio en una parte del sistema puede tener consecuencias en otras partes alejadas. Por ejemplo, y como ocurrió en nuestra universidad a finales del año 2003, una resolución estratégica de estandarización del software de los puestos de trabajo tomada por la gerencia, comprometía la docencia y la investigación de la Facultad de Informática distante cien kilómetros del centro de decisión. Se establecían ciertos programas y aplicaciones propietarias, con lo que se ponía trabas al uso de software libre. Esto significaba condicionar la cátedra, tanto económica como lingüísticamente, dado que para la docencia en euskara las únicas soluciones que existían eran con software libre.

Y esto nos dirige hacia el Pensamiento Sistémico que contempla cualquier fenómeno como parte de un sistema y que, a su vez, también puede serlo por sí mismo; que centra el interés en los problemas de relación, de estructura y de interdependencia, más que en los atributos de los objetos y que busca la emergencia de propiedades no derivadas a partir de los elementos del sistema por separado [BERT68, RAPO86].

Ante el problema que nos encontramos, no son acertados planteamientos lineales o deterministas. De entrada la mayor parte de los elementos que existen en la naturaleza, exceptuando algunos sistemas físicos muy simples, son no lineales, como defendía el investigador belga de origen ruso, Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química del año 1977 y precursor de la Teoría del Caos. En este caso no sirven razonamientos del tipo “a más de esto, más de aquello”, “a mayor formación, mayor rendimiento”, “a mayor inversión en tecnologías de la información, mayor motivación”. Si el problema fuera tan sencillo como que la relación entre el liderazgo y la motivación, fuese un fenómeno lineal, bastaría con construir modelos deterministas con una base estadística. Sin embargo, la realidad es que no es así como se ha podido comprobar en la ETSNMN, que a pesar de existir un liderazgo comprometido, abierto, accesible, autocrítico e implicado con la organización y las personas,

la organización se ha resistido al cambio. Al tratarse de un fenómeno no lineal, es decir, en el que la relación entre causa y efecto no son necesariamente proporcionales, no cabe reducir el problema a un conjunto de funciones lineales. Porque puede ocurrir que pequeñas causas pueden producir grandes efectos, y al contrario, grandes causas podrían producir pequeños efectos.

Desde la linealidad no es posible explicar las capacidades de adaptación y de autoorganización que tienen algunos sistemas como, por ejemplo, los sistemas vivos y sociales. Además, nos encontramos que la resistencia al cambio es, en sí mismo, de naturaleza sistémica. Una organización como la universidad tiene en su estructura la capacidad de rechazar o anular los cambios. Su estructura actual es consecuencia de diversos intentos de cambio previos, unos con éxito y otros sin él. Es un sistema que se reajusta para tender a un equilibrio organizativo porque si no, desaparecería. Es decir, esa resistencia, esa inercia que hay que vencer, responde a un modelo de regulación. Una de las grandes aportaciones realizadas por las teorías del caos a la ciencia en general es la consideración de “que los problemas no lineales deben ser tratados como no lineales y no simplificarlos y tratarlos como problemas lineales” [TSON92].

En efecto, la no linealidad es de difícil estudio y tratamiento. El profesor Herbert Simon de la Universidad Carnegie-Mellon, ganador del premio Nobel en Economía de 1978, ya apuntó esta situación en su Principio de la Racionalidad Limitada: “La capacidad de la mente humana para formular y solucionar problemas complejos es muy pequeña comparada con el tamaño del problema cuya solución es requerida para un comportamiento objetivamente racional en el del mundo real o incluso para una aproximación razonable a tal racionalidad objetiva” [SIMO57]. Los seres humanos somos torpes analizando la realimentación y la causalidad, los expertos no son inmunes a estos errores. El precursor de la Dinámica de Sistemas, Jay W. Forrester, recalca la necesidad de esta clase de herramientas porque, mientras que la gente es buena en la observación de la estructura local de un sistema, no está siempre tan bien adaptada a predecir cómo se comportarán los sistemas complejos interdependientes [FORR87]. Para cubrir las necesidades de comprensión eficaz de tales sistemas han surgido marcos conceptuales como el Pensamiento Sistémico, la Teoría General de Sistemas o la Teoría del Caos y la Teoría de la Complejidad; y se han desarrollado metodologías que ayuden a su manejo como es la Dinámica de Sistemas.

Sin embargo, es habitual que se tomen decisiones sin la ayuda de un método formal ya que el conocimiento y experiencia de nuestros dirigentes puede permitir construir modelos que satisfagan sus propias opiniones, convicciones o idearios, generalmente teniendo en cuenta gran cantidad de información, y siendo capaces de procesar datos que aparecen en diferentes formatos. Pero, la

principal desventaja de este tipo de modelos es que son subjetivos, y por lo tanto, no son fácilmente entendibles por los demás que, con sus prejuicios, puede producir dificultades en su debate porque las ambigüedades y las contradicciones podrían quedar sin resolver.

Antes de reseñar en qué consiste la Dinámica de Sistemas, conviene leer al profesor Javier Aracil<sup>17</sup> para entender el enfoque de la metodología sistémica: “(...) el mero análisis de un sistema no es suficiente; no basta con saber cuáles son sus partes. Para comprender su comportamiento necesitamos saber cómo se integran; cuáles son los mecanismos mediante los que se produce su coordinación. Necesitamos saber cómo se produce la síntesis de las partes en el sistema. (...) El énfasis en la síntesis distingue la metodología sistémica de las metodologías científicas más clásicas de análisis de la realidad, en las que se tiende a sobrevalorar los aspectos analíticos por oposición a los sintéticos, mientras que en la metodología sistémica se adopta una posición más equilibrada. Tan importante es el análisis, que nos permite conocer las partes de un sistema, como la síntesis, mediante la cual estudiamos cómo se produce la integración de esas partes en el sistema” [ARAC95].

Como se verá con más detalle en el capítulo 2, la Dinámica de Sistemas es un de los métodos científicos de modelado dinámico más adecuados y acertados para sistemas complejos, no lineales, naturales, técnicos y organizacionales. Un modelo de Dinámica de Sistemas representa las estructuras de realimentación claves del sistema, a la vez que la simulación del modelo muestra el efecto de las intervenciones políticas en la estructura del sistema. Su metodología, junto con el uso de un computador, ha demostrado su eficacia en la práctica como un medio adecuado para manejar problemas de sistemas complejos de comportamiento dinámico. Las simulaciones, al realizarse en un laboratorio virtual que es el ordenador, no entraña ningún tipo de peligro para la realidad observada.

El enfoque sistémico se ha aplicado en el desarrollo de la organización y gestión del cambio de diversas instituciones. Un buen ejemplo de ello es libro de Peter Senge, “La Quinta Disciplina” [SENG90], que describe cinco disciplinas que son vitales para una organización innovadora. El autor entiende que una *learning organization*<sup>18</sup> es una organización construida en la

---

<sup>17</sup> Javier Aracil, Catedrático de la Universidad de Sevilla, es el precursor y principal referencia de la Dinámica de Sistemas en España. En 1986 recibió el premio J. W. Forrester de por sus contribuciones a la investigación en esta disciplina.

<sup>18</sup> El concepto *learning organization* ha sido popularizado por Peter Senge. Se suele traducir al castellano como “organización que aprende” o como “organización inteligente”, sin embargo en esta memoria vamos a mantener el término original *learning organization*. Según Peter Senge se entiende por *learning organization* como la organización “donde las personas expanden continuamente sus capacidades para crear los resultados que realmente desean, donde se cultivan nuevos y expansivos

visión, trabajo en equipo, lealtad, flexibilidad, capacidad de actuar en condiciones cambiantes, entre otras. Identifica cinco disciplinas básicas que necesitan converger en las organizaciones innovadoras: Pensamiento Sistémico, Dominio Personal, Modelos Mentales, Construcción de una Visión Compartida y Aprendizaje en Equipo. La quinta disciplina es el Pensamiento Sistémico que implica la capacidad y habilidad de analizar sistemas en su globalidad, frente a encarar problemas aislados e incluye el concepto de la realimentación que explica cómo las acciones pueden descompensar o equilibrar el sistema. La quinta disciplina de Senge proporciona maneras de entender las organizaciones y cómo cambiarlas lo más eficazmente posible. El autor argumenta que el Pensamiento Sistémico es más necesario que nunca debido a la complejidad de interacciones en el mundo actual, dada su capacidad de ayuda para visualizar las estructuras que subyacen en estas situaciones complejas y la herramienta metodológica en la que se apoya es la Dinámica de Sistemas.

Los modelos de Dinámica de Sistemas se han utilizado en campos del conocimiento como en Aprendizaje Organizacional [KIM98, SENG90, MORE92, MORE94], en Gestión Estratégica [WARR99a, WARR00, WARR02, GROE05, KUNC05, SCHR05, SVEI05, MORE07, WARR08, GARY09], en modelos de Innovación [MAIE98, MILL93, MILL96, MILL02a], en Ecología y Desarrollo Sostenible, desde modelos globales del mundo [FORR71, MEAD72, MEAD92, MEAD04] a modelos de Medio Ambiente [COST98, MEAD98, GUO01, STAV02, STAV03, HARA03, WAIN04]. Igualmente se ha aplicado en Gestión de Proyectos [RODR96, LYNE07], en Gestión de Proyectos Software [ABDE91, DOLA00, RUIZ01, ANDE02, MADA07], en Gestión de la I+D<sup>19</sup> [MAIE92, ALVA98, MILL02b, PARK04, ALVA06, ORTI06a] o en Educación Superior [KENN00, KENN02, KENN03].

Otro de los riesgos principales de organizaciones grandes y complejas como son las universidades es la fragmentación de las mismas. Las facultades, departamentos y diferentes servicios pueden desarrollar visiones, metas y objetivos que pueden no alinearse con los de las demás secciones. Cada uno busca a menudo sus propios resultados y muchas veces, debido a la falta de comprensión de esa estrategia global, entran en conflicto. Quienes lideran un proceso de cambio necesitan construir una visión clara de hacia donde necesita ir la organización para que el proceso sea un éxito, y a la vez compartirla con

---

patrones de pensamiento, donde la aspiración colectiva queda en libertad, y donde las personas aprenden juntas a ver el conjunto” [SENG90]. Esta definición responde a una visión sistémica de la organización donde la clave del aprendizaje radica en la visión global de la misma y de las interrelaciones entre sus partes.

<sup>19</sup> Investigación y Desarrollo.

los diferentes grupos de interés porque la organización debe tomar la dirección que marque la política y estrategia de la institución. La sensibilización al cambio por medio de la capacitación de las personas puede ayudarles a ver la lógica del cambio y a ganar confianza mutua y credibilidad.

La comunicación es una herramienta poderosa para alinear una organización tan compleja y enorme en una misma dirección. Una comunicación eficaz reduce las habladurías y temores infundados y al dar a los miembros de la organización la información que precisa les permitirá adaptarse gradualmente a los cambios. Pero no cualquier tipo de comunicación es beneficiosa: una comunicación eficiente es la base para el rendimiento en cualquier tipo de organización, esto significa que no puede haber demasiada información y que debe ser transmitida la sensible. Entre esta información sensible se encuentran las razones que han determinado una política o estrategia, ya que si se transmite a los grupos de interés la visión estratégica que subyace detrás de las decisiones de los líderes, obtendremos una implicación mayor y, por consiguiente, una alineación mejor.

La Dinámica de Sistemas se ha utilizado como elemento para la construcción de modelos en grupo y para la implicación de los grupos de interés en el desarrollo del modelo, ayudando a comunicar la información y a generar el debate sobre los elementos principales de la estrategia. En este sentido conviene destacar la relevancia de los trabajos y experiencias realizadas por el profesor de la *Nijmegen University*, Jac Vennix [VENN96, VENN99, ROUW02], así como por otros autores [MORE92, RICH95, ANDE97, COST98, STAV02, STAV03, ANDE07]. Pero incluso cuando los grupos de interés no están implicados en el proceso de desarrollo del modelo, un modelo completo puede ser una herramienta efectiva para la comunicación pública.

Nos encontramos, por tanto, ante un problema que encierra una complejidad en dos niveles. Por un lado tenemos una organización como la UPV/EHU, que aparte de la naturaleza sistémica que se espera de ella dada su vocación de ser una *learning organization*, es un sistema con elementos interdependientes e interrelacionados, con numerosas conexiones causales no lineales. Además, estos sistemas pueden estar parcelados y no alineados. Por otro, la introducción de tecnologías de la información como soporte a sistemas de gestión estratégica avanzados coloca a la organización ante una decisión de adopción de una innovación. La gestión de la introducción de sistemas informáticos de tal escala, complejidad y trascendencia es cada vez más complicada y afecta a la cultura de la misma. Su éxito no depende únicamente de cuestiones técnicas, sino de que esa misma complejidad compromete la motivación de las personas, haciendo que los factores humanos sean claves.

Con los modelos tradicionales no es posible considerar todos estos elementos estructurales; por el contrario, los modelos basados en la metodología de Dinámica de Sistemas pueden ser instrumentos adecuados como apoyo a la toma de decisiones en la gestión de la innovación, ya que permiten mejorar la eficacia de la toma de decisiones a través de la comprensión de las estructuras de realimentación subyacentes que causan el comportamiento de un sistema [MAIE98]. La estrategia de subdividir el proceso de adopción de innovaciones en diferentes etapas separadas no es adecuado debido a la interconexión y la complejidad del sistema, lo que pone de manifiesto la necesidad de herramientas que contribuyan a aumentar los conocimientos y el aprendizaje sobre la difusión de innovaciones. El enfoque de la Dinámica de Sistemas es acertado porque estamos ante un problema en el que no es posible encontrar ni soluciones óptimas ni soluciones generales; solamente se pueden obtener tendencias o direcciones. La Dinámica de Sistemas ofrece flexibilidad para adaptarse a diferentes tipos de innovaciones, a las diferentes estructuras y situaciones, confirmándose una de las máximas fundamentales de Forrester que es que “la estructura influye en el comportamiento” [FORR68]. Como afirman Milling y Maier, los modelos sistémicos permiten investigar diferentes estrategias y aprender en una realidad virtual. Acentúan el proceso del aprendizaje al desarrollar una estrategia más que el resultado final [MILL02b].

### **1.3 *Objetivos de la investigación***

#### **1.3.1 Consideraciones previas**

A tenor de lo expuesto, y de cara al desarrollo de la investigación se parte del siguiente conjunto de consideraciones:

- Las universidades, así como su gestión estratégica, son sistemas complejos no lineales.
- La Dinámica de Sistemas es una metodología disponible, contrastada y fiable que ayuda al conocimiento del comportamiento de sistemas complejos no lineales.
- El trabajo estudio se enfoca hacia los miembros de una organización, hacia cómo elaboran sus opiniones relativas a la adopción de una innovación como son los sistemas informáticos de gestión de alto impacto organizacional.
- Igualmente, consideramos que no existen variaciones de las influencias externas, que durante el proceso de implementación el entorno no cambia de manera tal que la innovación ya no tenga razón de ser.

### **1.3.2 Hipótesis de partida**

No existe un modelo no lineal que simule el fracaso de adopción de nuevas tecnologías informáticas en sistemas complejos como es la gestión estratégica universitaria.

### **1.3.3 Objetivo general**

Construir un modelo de simulación dinámica, sobre la base del paradigma de modelado matemático Dinámica de Sistemas, que ayude a los responsables de la estrategia universitaria a entender y a prevenir las diferentes barreras en la implantación de modelos de gestión innovadores con el soporte de tecnologías de la información.

### **1.3.4 Objetivos específicos**

Como consecuencia del objetivo general, la investigación se enfoca en los siguientes objetivos específicos, que pretenden:

- Estudiar el marco metodológico, la Dinámica de Sistemas.
- Estudiar las barreras y causas de fracaso principales para la adopción de tecnologías informáticas, para lo cual se realizará una revisión bibliográfica con objeto de identificar los indicadores principales.
- Estudiar el estado del arte, analizar y evaluar los diferentes modelos existentes en cada una de las disciplinas implicadas:
  - Modelos de innovación y de aceptación de sistemas informáticos.
  - Teorías sobre aprendizaje organizacional.
  - Modelos y teorías sobre motivación.
- Diseñar y desarrollar del modelo dinámico.
- Realizar las simulaciones que se precisen, analizar los resultados y elaborar las conclusiones de la investigación.

## **1.4 Metodología de la investigación**

Teniendo en cuenta la naturaleza, los objetivos, alcance y limitaciones de la investigación, la metodología que se ha seguido en el desarrollo de esta tesis, se divide en dos procesos: la revisión bibliográfica y el modelado del prototipo objeto de esta tesis junto con su posterior análisis.

En lo referente al análisis de la bibliografía, este ha consistido en la búsqueda de artículos y documentos sobre los diferentes paradigmas implicados en la investigación y que se han especificado en los objetivos de la investigación (apartado 1.3). De una parte se han estudiado referencias de trabajos relativos a la gestión del cambio y a las barreras humanas a la implantación tanto de tecnologías informáticas. Se ha realizado una concienzuda y extensa revisión bibliográfica de publicaciones científicas referidas a la innovación -haciendo especial hincapié en el estudio de los diferentes modelos de difusión y adopción de innovaciones- y a los modelos de aceptación y éxito de sistemas de información. Finalmente se han examinado las principales publicaciones tanto en el área del Aprendizaje Organizacional como en el campo de la Motivación y de la satisfacción laboral.

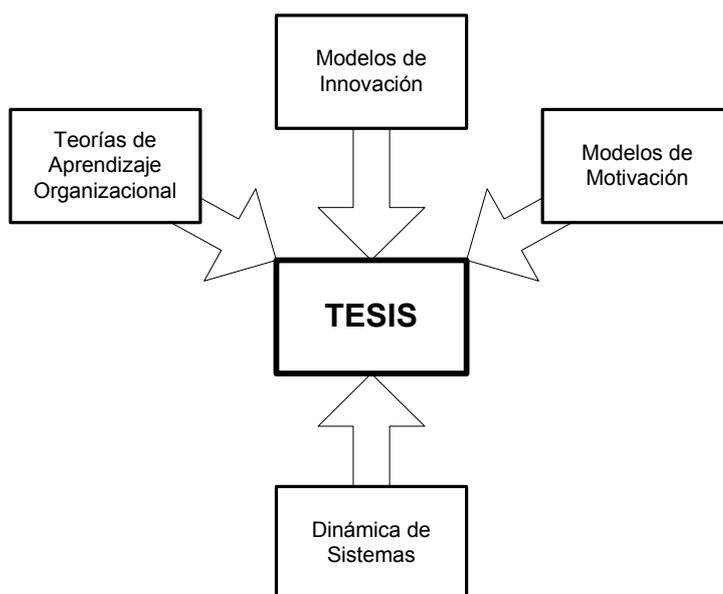
En cuanto al proceso de modelado y análisis se ha seguido la metodología propia de la Dinámica de Sistemas que se detalla en el apartado 2.2 y que se sintetiza en las siguientes fases.

- Identificación del problema y análisis del comportamiento. Se determinan las variables clave, se definen los límites del modelo y se describen los modos de referencia que son los comportamientos que caracterizan al sistema. En esta fase es clave la captura del conocimiento experto en el área de aplicación.
- Modelado cualitativo, o causal, del sistema. Se elabora la hipótesis dinámica, o causal, que incluirá las influencias detectadas entre los elementos del sistema. Se obtiene un Diagrama de Influencias o Diagrama Causal, el cual mostrará las relaciones básicas en forma de bucles de realimentación junto con los potenciales retardos. No obstante, un Diagrama Causal no recoge información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y magnitud de las variables.
- Modelado cuantitativo. Se desarrolla el modelo matemático del sistema para ser simulado en un computador. Para ello se traduce el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester, o Diagramas de niveles y flujos, que es un paso intermedio para la obtención de las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento del sistema. Se especifican las diferentes variables y magnitudes, se establece el horizonte temporal, la frecuencia de simulación así como la naturaleza y alcance de los retardos.
- Validación del modelo. El objetivo de esta fase es generar confianza en el modelo. Se verifica la sintaxis y la coherencia dimensional del conjunto de ecuaciones sistémicas que constituyen el Modelo Cuantitativo, se valida que el modelo responde al comportamiento

especificado con los modos de referencia y se analiza la sensibilidad del modelo. Se contrasta la robustez y la adaptabilidad del modelo en escenarios alternativos y en condiciones extremas.

Existe una quinta fase que está fuera del alcance de esta tesis que la evaluación del aprendizaje a nivel organizacional debido al uso del modelo. Los experimentos a nivel de la organización implican mucho tiempo dada la innata resistencia a cambiar los modelos mentales.

Para construir el Diagrama Causal, los diagramas de Forrester, el modelo matemático y para su posterior simulación hemos utilizado el entorno de simulación dinámica Vensim® (<http://www.vensim.com/>) de Ventana Systems Inc., concretamente la configuración Vensim® PLE Plus for Windows Version 5.9c. Vensim® es un software integrado que proporciona un entorno gráfico que permite conceptualizar, documentar, simular, analizar y optimizar modelos de Dinámica de Sistemas.



*Figura 2. Síntesis de la investigación.*

En la Figura 2 resumimos las áreas que intervienen en el desarrollo de esta tesis. En la zona superior se muestran las áreas que conforman el marco teórico los cuales se explican en el la segunda parte de la tesis. El esquema se asienta sobre la Dinámica de Sistemas que es la herramienta metodológica que sustenta este trabajo.

## **1.5 Aportaciones y limitaciones de la tesis**

Esta tesis aporta valor desde diferentes perspectivas. Desde el punto de vista metodológico, el enfoque utilizado difiere del tradicional enfoque de la Dinámica de Sistemas (identificación del problema, hipótesis, la simulación, la experimentación y la aplicación). Por el contrario, el objetivo está más orientado a la presumible comunicación de los resultados, a la construcción y a la validación del modelo de simulación.

Quedan fuera del alcance de esta tesis las pruebas de evaluación del aprendizaje a nivel organizacional. La experimentación e implementación de las diferentes estrategias posibles resultantes de la aplicación del modelo, por tanto se dejan para el usuario final y/o para posteriores investigaciones.

Se demuestra la utilidad de la Dinámica de Sistemas para manejar problemas complejos como el que nos ocupa en los que no existen soluciones universales. Es un laboratorio virtual para estudiar tendencias, para ensayar diferentes estrategias reforzando así el proceso del aprendizaje. Al mismo tiempo es una metodología que facilita la comunicación y el debate de los elementos clave de la gestión. En definitiva es una herramienta que ayuda a la toma de decisiones y al alineamiento de la organización.

Se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva de los modelos existentes sobre adopción y difusión de innovaciones, así como de los modelos específicos de aceptación de sistemas informáticos.

Se desarrolla un modelo de Dinámica de Sistemas que ayuda a la toma de decisiones en el proceso de adopción de innovaciones en la gestión estratégica universitaria por medio de tecnologías de la información.

Otra aportación es la combinación de conocimientos de diferentes áreas como Informática, Organización de Empresas y Psicología en una revisión integradora sobre la base de un modelo dinámico.

Se concluye que desde el punto de vista académico y curricular, los profesionales y directivos en el sector de las tecnologías de información que tienen que liderar la innovación y el cambio tecnológico en las organizaciones necesitan tener una perspectiva sistémica amplia así como adquirir conocimientos de gestión de las organizaciones y de las personas.

No obstante, es importante tener presentes el alcance y las limitaciones de esta tesis. Si bien un modelo de Dinámica de Sistemas y un análisis adecuado del sistema pueden mostrar futuros comportamientos de los sistemas ante varios escenarios, hay que tener en cuenta que no es una bola de cristal. Conviene

saber que todo modelo es reduccionista por definición, pues se trata de eso, de un modelo. Construir un modelo supone renunciar a representar algunos de los elementos y algunas de las relaciones, ya que el modelo perfecto es la propia realidad. Si los elementos seleccionados son relevantes y sus interrelaciones son correctas, el modelo será útil. Además, un aumento del número de componentes del modelo no es sinónimo de exactitud, sino que aumenta la probabilidad de error, en especial en sistemas finitos como los computacionales con procesos de simulación numéricos. Pero lo importante es que todos los modelos, ya sea en formato texto, conceptual o matemático, entraña una estructura de pensamiento sistémico. En definitiva, un modelo es acertado cuando el pensamiento que encierra es transferido con éxito del constructor del modelo al observador [HARA04].

## **1.6 Estructura de la tesis**

La memoria de la tesis se estructura en once capítulos, las referencias bibliográficas y tres anexos.

Este primer capítulo recoge la definición de la investigación, donde se hace referencia a la descripción de la investigación, se identifica el problema y se justifica la investigación, planteándose sus objetivos y la hipótesis de dicha investigación, así como la metodología aplicada en el desarrollo de la investigación. El capítulo segundo se centra en la metodología elegida para el desarrollo de esta tesis, la Dinámica de Sistemas. Resume las ideas esenciales del Pensamiento Sistémico, así como los principios básicos y metodológicos de la Dinámica de Sistemas.

En un segundo bloque se profundiza en el estado del arte de las distintas áreas que influyen en la concepción del modelo de la tesis y se compone de dos capítulos. El tercer capítulo se concentra en las teorías, fundamentos y experiencias relacionadas con la gestión del cambio y las barreras humanas relacionadas con la implantación de tecnologías de la información. El capítulo cuarto es el más exhaustivo porque contiene un análisis de los modelos de innovación relevantes: el Modelo de Difusión de Bass, el Modelo de difusión basado en Dinámica de Sistemas de Milling y Maier, la Teoría de la Difusión de la Innovación de Rogers, el Marco Conceptual de Adopción de Frambach y Schillewaert, el Modelo Dinámico de Implementación de Innovación de Repenning, el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM, *Technology Acceptance Model*) y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean.

El desarrollo del modelo de acuerdo a la metodología de Dinámica de Sistemas se aborda en el bloque formado por los siguientes cinco capítulos. En

el quinto capítulo se da una visión general del modelo con la especificación del problema describiendo el comportamiento esperado. Se identifican las variables clave y los comportamientos característicos del sistema o modos de referencia. Se plantea el modelo cualitativo, o hipótesis dinámica, por medio de un Diagrama Causal que se compone de seis bucles de realimentación. El modelo se organiza en funcionalmente tres sectores: el Sector de la Madurez organizacional, el Sector de la Satisfacción de las personas y el Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información. El capítulo sexto se centra en el primer sector donde se describe los bucles 1, 2 y 3, se desarrolla el Modelo Cuantitativo por medio de una Diagrama de Forrester y se valida dicho sector. De manera similar, el séptimo capítulo trata del sector asociado a la Satisfacción, estudiando la interacción de los bucles 1, 2 y 6, para desarrollar y validar el correspondiente Diagrama de Forrester. El capítulo octavo aborda el tercer sector orientado al Conocimiento en Tecnologías de la Información, profundizando en los bucles 4, 5 y 6, trasladándolo al correspondiente Modelo Cuantitativo para su validación. Finalmente, el noveno capítulo contiene una visión integrada del modelo, para lo cual se ajustarán los correspondientes parámetros que permita encajar los tres sectores y se realiza una validación más profunda del mismo por medio del análisis de seis escenarios que caracterizan las principales situaciones detectadas.

Para acabar la memoria se incluye un capítulo de conclusiones, el décimo, donde se detallan las aportaciones y resultados originales, especificándose futuras líneas de investigación. Finalmente, en el decimoprimer capítulo se detallan las referencias consultadas. Al final del texto se adjunta en un Anexo 1 el conjunto de variables con su definición y unidades, y se presentan en el Anexo 2 las ecuaciones completas correspondientes al modelo integrado en el capítulo noveno. En el Anexo 3 se incluye el índice de las figuras.



## 2 La Dinámica de Sistemas

*“I challenge you to define System Dynamics as if someone in an elevator were to ask you what it is, therefore leaving you less than 30 seconds to explain”.*

*- Fabian Szulanski (lista de correo electrónico de la System Dynamics Society)-*

*“System Dynamics deals with how things change through time, which includes most of what most people find important. It uses computer simulation to take the knowledge we already have about details in the world around us and to show why our social and physical systems behave the way they do. System Dynamics demonstrates how most of our own decision-making policies are the cause of the problems that we usually blame on others, and how to identify policies we can follow to improve our situation. [This may work if the building is tall enough and if the person really wanted to know]”.*

*-Jay Forrester (lista de correo electrónico de la System Dynamics Society)-*

La Dinámica de Sistemas es una metodología para el estudio y manejo de sistemas de realimentación complejos. Una de las características de esta disciplina es el uso del computador para realizar sus simulaciones, lo que ofrece la posibilidad de estudiar el comportamiento y las consecuencias de las múltiples interacciones de los elementos de un sistema a través del tiempo. Esto la hace muy útil para el estudio de fenómenos sociales ya que en ellos están implicados una gran cantidad de elementos e interrelaciones en los que la presencia de no linealidades determinan el comportamiento y dificultan una solución analítica. Además, los efectos de las políticas y acciones ejercidas sobre estos sistemas se manifiestan en horizontes temporales diferentes y dilatados. Este hecho dificulta la construcción de laboratorios de experimentación donde se puedan probar diferentes políticas y observar sus consecuencias sobre el sistema. Por tanto, los modelos de simulación dinámica permiten estudiar cómo las políticas, decisiones, estructura y retrasos influyen en el crecimiento y la estabilidad de un sistema. Actualmente su ámbito de aplicación abarca la planificación y diseño de políticas corporativas, la gestión y las políticas públicas, los modelos biológicos y médicos, el área de la energía y el medio ambiente, el desarrollo de la teoría en ciencias naturales y sociales, la toma de decisiones y la dinámica no lineal compleja.

La Dinámica de Sistemas fue desarrollada en los años cincuenta en el MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) por el ingeniero Jay Wright Forrester<sup>20</sup>. Sus trabajos cristalizaron en sus tres obras más trascendentes: “*Industrial Dynamics*” [FORR61] que analiza diversos sistemas comerciales y de gestión como el control de inventarios, la logística y la toma de decisiones; “*Urban Dynamics*” [FORR69] que estudia los problemas de la sociedad urbana, como el hacinamiento y el deterioro de las ciudades; y “*World Dynamics*” [FORR71] que se dirige a problemas como el crecimiento demográfico y la contaminación a escala global. En 1970, en el I Informe al Club de Roma se presenta el Modelo del Mundo, coordinado por el matrimonio Meadows utilizando Dinámica de Sistemas [MEAD72]. Estos trabajos y su discusión popularizaron la Dinámica de Sistemas a nivel internacional. El primer libro de Forrester, “*Industrial Dynamics*” [FORR61], sigue siendo una declaración elemental de la filosofía y metodología de la disciplina.

La innovación de Forrester consistió en transferir el conocimiento de la teoría de control y realimentación de la Ingeniería Automática a otras áreas como la organización y las ciencias sociales, proponiendo una sencilla metáfora

---

<sup>20</sup> Forrester no sólo es considerado el padre de la Dinámica de Sistemas, sino que es uno de los pioneros en el desarrollo de los computadores digitales ya que lideró el grupo del MIT que inventó la memoria de acceso directo (RAM) sobre la base del núcleo de ferrita.

hidrodinámica para la representación de un sistema, abstrayendo las ecuaciones diferenciales que definen un sistema no lineal. Es decir, la Dinámica de Sistemas representa matemáticamente nuestros modelos mentales siendo una fase posterior al desarrollo de dichos modelos mentales. Las principales aplicaciones de software para la Dinámica de Sistemas existentes en la actualidad<sup>21</sup>, simulan el correspondiente modelo matemático por medio de métodos numéricos computacionales facilitando el análisis de su comportamiento e incertidumbre a través de una interfaz gráfica amigable.

## **2.1 El enfoque sistémico**

El término “sistema” es tremendamente polisémico ya que se utiliza en todo tipo de contextos, por eso mismo conviene precisar su definición. Por “sistema” se entiende el conjunto de elementos conectados entre sí, donde se enfatiza el concepto de conexión entre las entidades que lo componen. Esta definición no es inocente porque lleva implícita una serie de conceptos fundamentales.

Por un lado, si se quiere entender un determinado sistema para ser capaces de predecir su comportamiento, es necesario estudiar el sistema en su integridad. La esencia de un sistema es su conectividad, por lo que fraccionarlo en partes para su estudio destruye la conectividad del sistema, y por ende, el propio sistema. Peter Senge explica este concepto de una manera muy pedagógica en su libro “La Quinta Disciplina” [SENG90] cuando dice que dividiendo un elefante por la mitad no obtenemos dos elefantes pequeños. Seccionar un elefante para examinar las propiedades de sus partes para así entender el sistema elefante completo no es un enfoque acertado, simplemente porque los dos subsistemas obtenidos no funcionan. La razón de esto, por supuesto, es que la mitad trasera de un elefante está totalmente relacionada con la mitad delantera. Al cortar el elefante por la mitad, esta conexión desaparece.

Paralelamente, si se quiere estar en posición de poder influir o controlar el comportamiento de un sistema, igualmente se debe actuar sobre el conjunto del sistema. Actuar en un punto del sistema con la esperanza de que no suceda nada en otro, no sólo es ingenuo sino que está condenado al fracaso ya que todo está interconectado. Por lo tanto, otra característica que caracteriza y distingue un sistema es el concepto de realimentación. Por realimentación se entiende el caso de que un elemento influye sobre un segundo elemento, y a su vez, este segundo elemento influye en el primero pero a través de una serie encadenada de causas y efectos (relaciones causales o relaciones de influencia). No se puede estudiar la relación entre el primer elemento y el

---

<sup>21</sup> Vensim®, Powersim Studio™ o iThink®/STELLA®.

segundo, sin tener en cuenta la influencia existente entre el segundo y el primero, y pretender predecir cómo se comportará un sistema.

Desafortunadamente, y como ya hemos reseñado en el apartado 1.2, por diversas razones las personas no estamos acostumbradas a esta visión sistémica de nuestro entorno. A veces no queremos ver la complejidad, porque vivir en un mundo simple es mucho más fácil que vivir en uno complejo, y preferimos creer que nuestras acciones se traducirán en el efecto que deseamos y sólo en ese sentido, por muy claras que sean las evidencias de lo contrario. Además es más pragmático, ya que entender algo más pequeño y simple es más fácil que tratar de entender la complejidad del conjunto.

Pero hay una tercera razón que es que la ciencia en los últimos cuatro siglos se ha basado en el principio de “divide y vencerás”. La esencia del método científico consiste en observar los resultados de ensayos cuidadosamente elaborados, en los que las condiciones experimentales han sido deliberadamente diseñadas para centrarse en los elementos clave de interés, con exclusión de todo lo demás. En consecuencia, la mayoría de las herramientas para la resolución de problemas que aprendemos en el sistema educativo y en nuestras carreras profesionales nos encaminan a dividir los problemas.

Es aquí donde surge una disciplina conocida como Pensamiento Sistémico que es la combinación de un enfoque para la resolución de problemas con un conjunto de herramientas, métodos y técnicas. El enfoque de la solución de problemas del Pensamiento Sistémico es precisamente reconocer que los sistemas son complejos debido a la conexión entre sus componentes individuales, y que para entender el sistema debe ser examinado en su conjunto.

Lejos de ser una actividad meramente académica, el Pensamiento Sistémico es sumamente práctico y puede aplicarse a todos los aspectos de la vida. El principio del Pensamiento Sistémico es que todo comportamiento de un sistema es una consecuencia de su estructura. La estructura de un sistema determina su desarrollo, su éxito y su fracaso. La solución para resolver un problema en un sistema está dentro de él y salir fuera a buscar la causa del mismo es erróneo, o bien indica que debemos ampliar los límites del sistema. Por supuesto que no podemos resolver todos los problemas dentro de las fronteras definidas. Esto se debe a que un sistema contiene subsistemas y, a su vez, siempre está integrado dentro de un sistema mayor. Por ejemplo, una organización puede estar pasando por dificultades que no se hayan originado internamente debido a sus propias políticas, sino que se puedan deber a reglamentaciones gubernamentales o al propio devenir de la macroeconomía.

Por consiguiente, si se quiere comprender un sistema para estar en posición de poder influir en su comportamiento, se debe intentar comprender el sistema como un todo. Esto puede requerir, o no, un conocimiento detallado del comportamiento de sus componentes, pero lo cierto es que el conocimiento de las partes sólo tiene una utilidad limitada en la comprensión del comportamiento global, y en algunos casos, este conocimiento puede ser contraproducente.

Las herramientas, técnicas y métodos están diseñados para ayudar a este enfoque, para comprender y documentar cómo los componentes se conectan entre sí, y para interpretar y estudiar su comportamiento dinámico colectivo. Aquí es donde hay que situar a la Dinámica de Sistemas. La Dinámica de Sistemas va más allá del Pensamiento Sistémico y entra en el terreno del modelado formal de sistemas.

### **2.1.1 Lo bueno, si breve, dos veces bueno; y aun lo malo, si poco, no tan malo<sup>22</sup>**

Cuando se construye un modelo mental y se define su sistema hay que ser conscientes del nivel de los detalles. La generalización es a menudo la clave para comprender los sistemas complejos. Hördur Haraldsson muestra gráficamente (ver Figura 3) cómo la comprensión del sistema aumenta paulatinamente hasta que añadimos tantos elementos a nuestro modelo que su comprensión y eficacia disminuyen debido a su complejidad [HARA04]. Esto sucede porque nuestra capacidad de comprender la dinámica completa del problema se va haciendo cada vez más débil a medida que vamos añadiendo más variables.

Cuando se crean modelos mentales no se pretende capturar en un modelo la realidad completa porque dichos modelos serían tan complejos como la propia realidad. Lo que se quiere es recoger parte de la realidad de forma tal que proporcione una comprensión básica del problema complejo. Las relaciones de causalidad siempre implican cierto grado de incertidumbre. Añadir más variables al modelo y relaciones causalidad que conllevan, aumenta los detalles que el modelo necesita incorporar pero a costa de una mayor incertidumbre.

En la Figura 3 podemos ver que en algún momento se logra la mayor comprensión del sistema en función de su complejidad. Concretamente, en este caso, el mejor rendimiento se consigue con tres elementos y añadir más implica una incertidumbre mayor y no una contribución mayor al rendimiento. Es a partir de ahí donde el nivel de detalle del modelo no debe ser mayor. Por

---

<sup>22</sup> Baltasar Gracián (1647). “Oráculo manual y arte de prudencia”. Aforismo nº 105.

ejemplo, si se quiere estudiar la contaminación de los coches en una ciudad, entrar en los detalles del motor sólo añadiría detalles innecesarios y mayor complejidad que disminuirían la comprensión del comportamiento del sistema en un nivel más agregado.

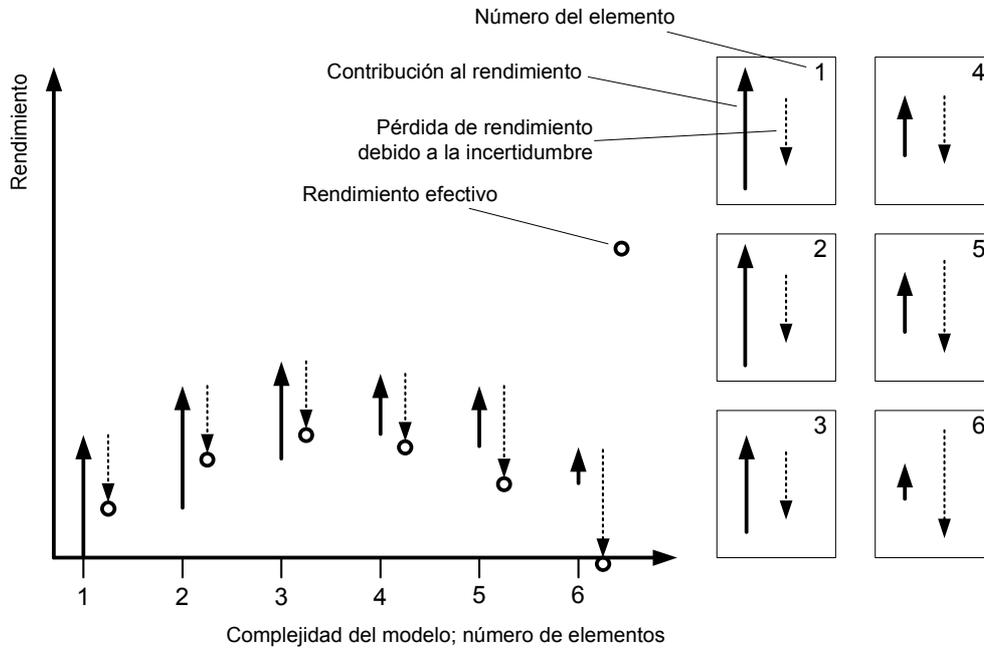


Figura 3. Existe un óptimo en el rendimiento (o comprensión) del modelo en relación a la complejidad del mismo.

Fuente: [HARA04] adaptado por el autor.

Podemos concluir que cuanto mayor sea el número de variables que estamos considerando mayor será la complejidad y la incertidumbre en torno a dichas variables. Por tanto, cuando se aborda un sistema a gran escala que contiene numerosas variables y que conviene integrarlo a través de diversos niveles, surge la necesidad de simplificar. Es necesario generalizar y plantear las cuestiones adecuadas que limiten las fronteras del sistema.

## 2.2 Metodología de la Dinámica de Sistemas

La metodología de la Dinámica de Sistemas difiere de otras técnicas de modelado. En un modelo sistémico la estructura del mismo no está predeterminada por un tipo de modelo matemático previo, sino que la establece un analista dialogando con un experto. Esto le da al modelo un componente heurístico que hace que el modelo se base en el modelo mental que posee el experto sobre el problema. El modelo resultante, aunque al final se traduce en un conjunto de ecuaciones matemáticas, tiene su origen en un punto de vista, con toda la carga de subjetividad que ello implica.

Este enfoque tiene sus ventajas e inconvenientes. La ventaja reside en que su lectura es comprensible y los resultados de la simulación son accesibles al experto no matemático. No es necesario acudir a las ecuaciones para entender el modelo, sino al Diagrama Causal. Por el contrario, nos enfrentamos al inconveniente de que las relaciones de causalidad recogidas sean las reales, sino las que obtienen del conocimiento del experto. Esta forma de desarrollar los modelos de Dinámica de Sistemas se adapta a los problemas sociales, que se formalizan sobre la base de la opinión de expertos, con la carga de subjetividad que suelen llevar implícitos.

Al contrario de lo que muchos creen, el proceso de modelado no comienza con los datos. Recoger datos a la ligera sin un modelo claro no generan ni más comprensión ni mayor claridad, simplemente aumenta la confusión general [HARA04]. Cualquier investigación comienza con una especificación del problema lo cual ayuda a comprender el propio problema. Este es “el modelo”, la imagen mental de cómo se debe entender el problema. Es decir, no hay modelos erróneos y si algo no funciona, la causa se debe a una especificación incorrecta. Después de construir el modelo podemos probarlo y ponerlo en cuestión. Es entonces cuando aparecerá una necesidad específica de datos. Y no todos los datos son necesarios, sólo aquellos que sean relevantes para el problema, el resto deben separarse. De los resultados de las pruebas se aprende lo que ayuda a reajustar y dar valor al modelo mental sobre el problema. El desarrollo del modelo requiere la repetición de este ciclo varias veces y continuará mientras existan datos suficientes o literatura para validar del modelo. De esta manera la comunicación del modelo es más eficaz, tanto para el usuario como para el desarrollador. Además, permite mostrar tanto el éxito como los problemas encontrados.

Como ya hemos señalado en el capítulo 1, la Dinámica de Sistemas dispone de una metodología propia para el proceso de modelado y análisis que se sintetiza en las siguientes cuatro fases. Las dos primeras se comparten con otras disciplinas que se encuentran bajo el paraguas del Pensamiento Sistémico, como el Análisis Sistémico. Pero las dos últimas son específicas y características de la Dinámica de Sistemas.

### **2.2.1 Fase de identificación del problema y análisis del comportamiento**

Como acabamos de señalar, la clave para comprender los sistemas complejos es la generalización, por lo que el proceso debe comenzar por definir y delimitar los límites del sistema de acuerdo a la pregunta o preguntas específicas para las que se busca una respuesta.

Por tanto, en esta primera fase se debe especificar claramente el problema. Se comienza por recopilar información y enumerar todas las variables que consideramos adecuadas para el sistema. A continuación se identifica las variables clave asociadas a las magnitudes cuya variación a lo largo del tiempo queremos estudiar y que ayuden a definir los referidos límites del sistema así como la estructura de realimentación que gobierna su dinámica. Conviene describir los comportamientos característicos del sistema, denominados modos de referencia, que muestren la evolución temporal de las variables.

Los modos de referencia son representaciones gráficas de los patrones de comportamiento de las variables clave a lo largo del tiempo. No tienen por qué reproducir necesariamente el comportamiento observado, sino que son gráficos que muestran una característica de comportamiento que se considera interesante. Pueden referirse tanto al pasado como al futuro, pudiendo expresar lo que se estima, lo que se teme o lo que se desea que suceda. Normalmente se dibuja la variable en el eje de ordenadas, mientras que en el eje de abscisas se representa el tiempo; aunque en ocasiones puede ser interesante mostrar la relación entre variables del modelo. Son útiles para identificar la estructura subyacente del modelo, para la identificación de ciclos de realimentación y como complemento a las descripciones verbales del comportamiento. Como señala John Sterman, no se necesitan datos cuantitativos para capturar la dinámica de los modos de referencia. Cuando no se dispone de datos numéricos se debe estimar el comportamiento de las variables a partir de la descripción realizada y de otra información cualitativa. Conviene no omitir variables importantes por el simple hecho de que todavía no hayan sido medidas o porque los datos no sean fácilmente obtenibles [STER00].

Para esta fase primera es muy importante la aportación del conocimiento de los expertos en el área de aplicación así como las referencias de otros modelos similares.

### **2.2.2 Fase de modelado cualitativo, o causal, del sistema**

En esta segunda fase se elabora una hipótesis dinámica o causal, ello implica definir las influencias que se producen entre los elementos que integran el sistema. No es hasta que se empieza a enlazar las relaciones causales que se obtiene una visión del modelo. Se necesita saber de qué dependen las otras variables en las que se quiere influir. Es decir, hay que entender cómo funcionan unidas las relaciones causales entre las variables de un sistema.

El resultado de esta fase es el establecimiento del Diagrama de Influencias o Diagrama Causal (CLD, *Casual Loop Diagram*), el cual debe mostrar las relaciones básicas en forma de bucles de realimentación junto con los potenciales retardos. Sin embargo, un Diagrama Causal no recoge otras

características como información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y magnitud de las variables.

### 2.2.2.1 Diagrama Causal

Un Diagrama Causal es una herramienta para mostrar la estructura y las relaciones causales de un sistema para entender sus mecanismos de realimentación en una escala temporal.

Los elementos básicos son las variables o factores y los enlaces o flechas. Una variable es una condición, una situación, una acción o una decisión que puede influir en, o puede ser influida por, otras variables. Una de los puntos fuertes de los Diagramas Causales es su capacidad de incorporar variables cualitativas, también llamadas variables *soft*<sup>23</sup>.

El segundo elemento de los Diagramas Causales son las flechas o enlaces que expresan una relación de causalidad o de influencia entre dos variables, de forma que una variación en el origen de la flecha produce un cambio en la variable destino (Figura 4).

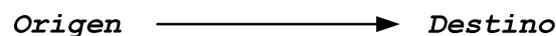


Figura 4. Flechas, relaciones causales o relaciones de influencia.

Existen dos tipos de influencias: positiva y negativa. El carácter de la relación se expresa asociando un signo a la flecha. En la Figura 5 se representa una relación de influencia positiva. Ello significa que ambas variables cambian en el mismo sentido: si la variable A aumenta (o disminuye), la variable B también aumenta (o disminuye).



Figura 5. Relación de influencia positiva.

En la Figura 6 se representa una relación de influencia negativa. El signo negativo indica que las variables de los dos extremos de la flecha varían en sentido opuesto: si la variable A aumenta (o disminuye), entonces la variable B disminuye (o aumenta).

---

<sup>23</sup> La Dinámica de Sistemas ante la necesidad de modelización de variables asociadas a recursos intangibles que se caracterizan porque su cuantificación es compleja, utiliza las denominadas variables *soft*. Se define variable *soft* como aquella variable de la que no se tienen datos numéricos disponibles, e incluyen factores como características cualitativas, percepciones y expectativas concernientes a una persona o cosa [ORTI06c].

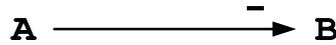


Figura 6. Relación de influencia negativa.

### 2.2.2.2 Bucles de realimentación

Los bucles de realimentación representan el proceso dinámico que se traslada por una cadena de causas y efectos a través de un conjunto de variables que acaba volviendo a la causa original. Propiamente, un bucle de realimentación es el grupo de variables interconectadas por relaciones causales o de influencia (positivas o negativas), que forman un camino cerrado que comienza en una variable inicial y que acabe en la misma variable. Cada bucle de realimentación tiene una coherencia semántica, es unidad argumental que describe un suceso sobre la base de relaciones de causa y efecto siguiendo un discurso unitario.

Existen dos tipos básicos de bucles de realimentación, los bucles de realimentación positiva, o de refuerzo, y los bucles de realimentación negativa, o estabilizadores.

#### Bucles de realimentación positiva

Los bucles de realimentación positiva, también llamados de refuerzo o, más descriptivamente, de efecto de bola de nieve, son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que acentúa dicha variación inicial. Esa variación primera puede ser tanto un incremento como una disminución de un valor determinado.

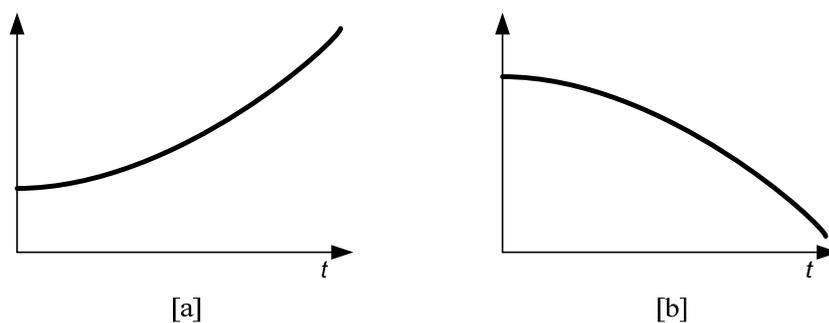


Figura 7. Respuestas explosiva [a] y depresiva [b] de los bucles de realimentación positiva.

Este tipo de bucle genera un comportamiento de crecimiento o de decrecimiento del sistema que lo aleja del punto del equilibrio. Es decir, tiende a desestabilizar los sistemas de forma exponencial. Por lo que podemos encontrar comportamientos que hace que crezca el sistema de forma explosiva formando un círculo virtuoso (ver Figura 7 [a]); o con

comportamientos depresivos en forma de remolino que se conocen como círculos viciosos (ver Figura 7 [b]).

En la Figura 8 mostramos un ejemplo de bucle de realimentación positiva<sup>24</sup>. Este ejemplo tiene su hilo argumental. Un aumento del prestigio de una universidad hace que aumente la captación de recursos externos, lo cual redundará en un incremento del presupuesto de investigación, y por ende, del estímulo de los procesos de investigación, lo cual hace que mejoren los resultados que se transfieren a la sociedad, lo que a su vez aumenta el prestigio de la universidad, generándose así un círculo virtuoso que hace que crezca el sistema con un efecto de bola de nieve. Pero también se puede formar un círculo vicioso, esto es, si disminuye el prestigio, disminuye la captación de recursos, por lo que decae el impulso de la investigación, lo que hace empeorar los resultados y en definitiva disminuye el prestigio de la universidad entrando en una espiral depresiva.



Figura 8. Ejemplo de bucle de realimentación positiva.

### Bucles de realimentación negativa

A los bucles de realimentación negativa se les conoce con diversas denominaciones (estabilizadores, equilibradores, balanceadores, reguladores o autorreguladores, homeostáticos,...) y son la base de cualquier sistema de control o regulación, tanto natural como artificial. Son aquellos en los que una variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que se genere un efecto que contrarresta la variación inicial.

Como se aprecia en la Figura 9, tienden a buscar asintóticamente un equilibrio. Habitualmente su comportamiento lleva implícito un objetivo (exógeno), lo que hace que este tipo de comportamientos se conozca como comportamiento de búsqueda de objetivos (*Goal Seeking*).

<sup>24</sup> Un bucle de realimentación es positivo si todas las relaciones de influencia son positivas o si contiene un número par de relaciones negativas. Se representa con un signo “+” o con la letra R (*Reinforcing feedback*).

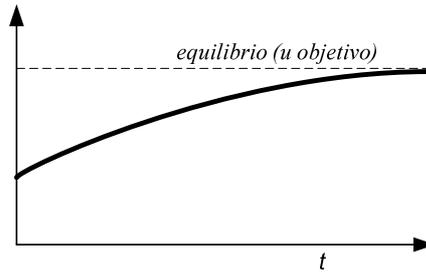


Figura 9. Respuesta estabilizadora de los bucles de realimentación negativa.

En la Figura 10 mostramos un ejemplo de bucle de realimentación negativa<sup>25</sup> aplicado al mismo campo que el ejemplo anterior de la Figura 8, pero con una línea argumental diferente. Un aumento del prestigio de una universidad hace que aumente el número de alumnos matriculados; esto supone que crezca el tiempo que tiene que dedicar el profesorado a la docencia (atención al alumno, seguimiento de trabajos, evaluaciones,...), lo que hace que disminuya el tiempo que puede dedicar a labores de investigación. Si disminuye la investigación, se obtienen menos resultados y se pierde prestigio. Pero si disminuye el prestigio, se reducirá el número de alumnos y el tiempo dedicado labores docentes, con lo que aumentará el tiempo para investigar. Y de esta manera el sistema se irá regulando hasta llegar a un punto de equilibrio.

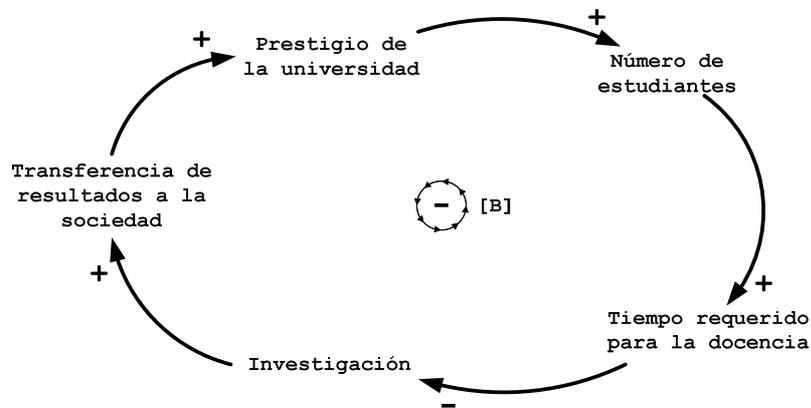


Figura 10. Ejemplo de bucle de realimentación negativa.

El Diagrama Causal de un sistema no está compuesto exclusivamente por un único y aislado bucle de realimentación, sino más bien todo lo contrario. Un Diagrama Causal encierra diversos bucles de realimentación que comparten variables y relaciones de causalidad (ver Figura 11). La interacción combinada de diferentes bucles de realimentación puede producir numerosas respuestas

<sup>25</sup> Un bucle de realimentación es negativo si contiene un número impar de relaciones de influencia negativas. Se representa con un signo “-” o con la letra B (*Balancing feedback*).

del sistema más complejas que la respuesta exponencial o que la respuesta de búsqueda de objetivos.

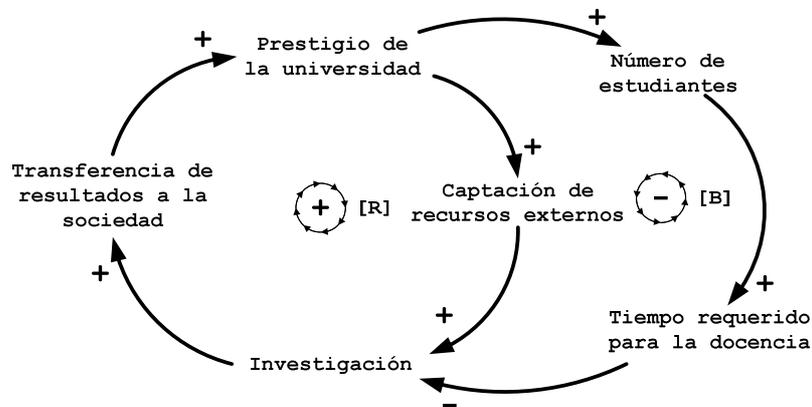


Figura 11. Ejemplo de Diagrama Causal con dos bucles de realimentación integrados.

### 2.2.2.3 Retardos

Los retardos son inherentes a la mayoría de los sistemas y pueden tener una influencia notable en el comportamiento de un sistema. La Dinámica de Sistemas acepta la existencia de los retardos y en el proceso de modelado y simulación se distingue entre relaciones de influencia que se producen de forma más o menos instantánea y relaciones de influencia que tardan un cierto tiempo en manifestarse. En este caso, se asocia un retardo a dichas relaciones de influencia<sup>26</sup>.

Un retardo no es más que el tiempo que transcurre entre una causa y sus efectos y en los modelos sistémicos se manejan como procesos cuya salida se retrasa en alguna manera con respecto a la entrada.

En los bucles de realimentación positiva un retardo ocasiona que el crecimiento (o decrecimiento) no se produzca de forma tan rápida como cabría esperar. Sin embargo, el efecto de los retardos es especialmente sensible en el caso de los bucles de realimentación negativa. En este caso, el comportamiento, en lugar de aproximarse de forma suave hacia el equilibrio, puede mostrar respuestas que se sobrepasen, hacia arriba o hacia abajo, dicho nivel provocando que el sistema oscile<sup>27</sup>, a veces violentamente.

<sup>26</sup> En los diagramas causales se utiliza la notación es una doble raya vertical, “||”, sobre la flecha para indicar la existencia de un retardo en la relación de influencia.

<sup>27</sup> Los orígenes de la Dinámica de Sistemas se encuentran precisamente en el análisis que realizó Jay Forrester sobre este tipo de oscilaciones en una empresa que mostraba demoras en la transmisión de información. Descubrió que un sistema de realimentación en el que se producen retardos presenta oscilaciones que van atenuándose según se alcanza objetivo buscado.

Un ejemplo sencillo y que aparece en la mayoría de los libros de introducción a la Dinámica de Sistemas, es el caso de la regulación de la temperatura de una ducha. Cuando nos metemos en la ducha, inicialmente sale el agua fría, y abrimos el grifo del agua caliente hasta que sale demasiado caliente. En este caso, bajamos el agua caliente hasta que sale más fría de la que deseamos y volvemos a aumentar la temperatura, repitiéndose este proceso hasta que las oscilaciones de temperatura se estabilizan. Esto se recoge en el Diagrama Causal de la Figura 12 cuya comportamiento se muestra en la Figura 13.

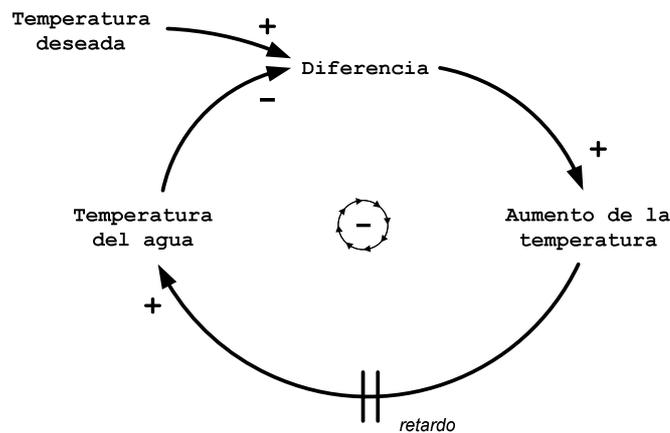


Figura 12. Diagrama causal de la regulación de la temperatura de una ducha.

¿Qué ocurre? La clave para entender este comportamiento se debe a que entre la acción de regulación de la temperatura (**Aumento de la temperatura**) y el efecto real de adecuación de la temperatura (**Temperatura del agua**) existe un retardo, de forma que para cuando se detecta la temperatura deseada y se reacciona, la acción anterior sigue su curso indefectiblemente produciéndose un rebasamiento del límite (**Temperatura deseada**) como se observa en la Figura 13.

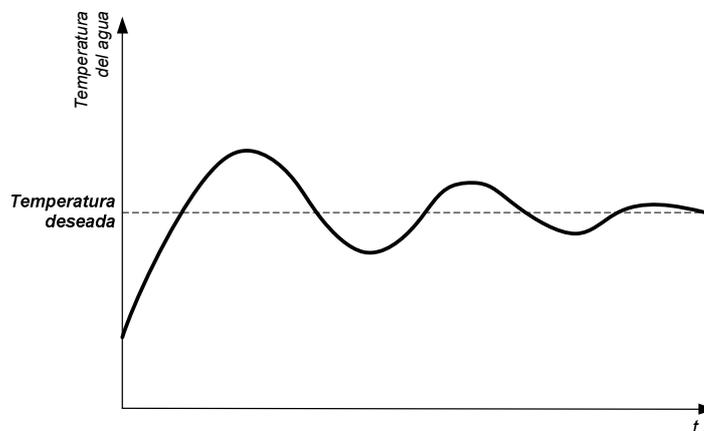


Figura 13. Respuesta oscilante de la regulación de la temperatura de una ducha.

En las organizaciones los retardos se deben a la transferencia tanto de información como de material. Suelen estar embebidos en los diferentes procesos de negocio y producción o de apoyo, como los procedimientos de preparación y arranque o de renovación y reparación. Pero los retardos más nocivos son los retardos estratégicos, en los que los efectos de las políticas y estrategias ocurren mucho tarde que las acciones que las ocasionaron, y a menudo en lugares no esperados, dado que suelen existir relaciones causa-efecto subyacentes que están enmascaradas en el tiempo y en el espacio. Algunos retardos estratégicos tienen consecuencias serias y a veces desastrosas. La lentitud de los resultados hace que se actúe con precipitación lo que suele conducir a una oscilación del sistema. Esta falta de conciencia de los retardos sistémicos es lo que hace que los líderes tomen decisiones erróneas o que intervengan innecesariamente y de forma perjudicial.

### **2.2.3 Fase de modelado cuantitativo**

Como ya hemos adelantado en el apartado anterior, un Diagrama Causal no es suficiente para apreciar el comportamiento de un sistema donde se entiende que el comportamiento es la manera en que las variables del modelo varían a lo largo del tiempo. Por tanto es necesario incorporar información sobre el tiempo y las magnitudes de las variables.

El objetivo final es poder simular el modelo porque la realidad no permite dar marcha atrás en el tiempo para cambiar las cosas, pero un modelo de simulación permite modificar la estructura del mismo y analizar su comportamiento bajo distintas condiciones. La Dinámica de Sistemas proporciona dicho entorno donde poder probar los modelos mentales que se tienen de la realidad mediante el uso de la simulación por computador. La idea de poder simular situaciones de la vida real es un concepto muy atractivo que facilita y estimula el aprendizaje.

Por lo tanto, al final de esta fase se debe disponer de un modelo matemático, o Modelo Cuantitativo, del sistema para ser simulado en un computador. Para ello se debe traducir el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester que es un paso intermedio para la obtención de las ecuaciones matemáticas que definen el comportamiento del sistema. Durante este proceso se amplía y especifica la información aportada por el Diagrama Causal caracterizando las diferentes variables y magnitudes, estableciendo el horizonte temporal, la frecuencia de simulación y especificando la naturaleza y alcance de los retardos. Además se considera una buena práctica de diseño no dar por definitivo el Diagrama Causal hasta no haber desarrollado el Diagrama de Forrester ya que en el proceso de conexión y ajuste de los niveles y flujos se pueden rectificar

relaciones que no se habían precisado o advertido dado que el Diagrama Causal es una visión más agregada del modelo.

### 2.2.3.1 Diagramas de Forrester

Una de las características distintivas de la Dinámica de Sistemas son los Diagramas de niveles y flujos, más conocidos como Diagramas de Forrester. Junto con la realimentación, los conceptos fundamentales de la Dinámica de Sistemas son los recipientes (*stocks*), llamados niveles, y los flujos.



Figura 14. Diagrama de Forrester elemental.

Esta convención de niveles y flujos fue creada por el propio Jay Forrester [FORR61] basándose en una metáfora hidrodinámica: el flujo de entrada y salida de agua en una bañera o recipiente. De forma que la cantidad o nivel de agua de la bañera es la acumulación de agua que entra a través del grifo menos el agua que sale por el desagüe. En la Figura 14 se representa esta analogía según la notación propia de los Diagramas de Forrester que se muestra en la Figura 15.

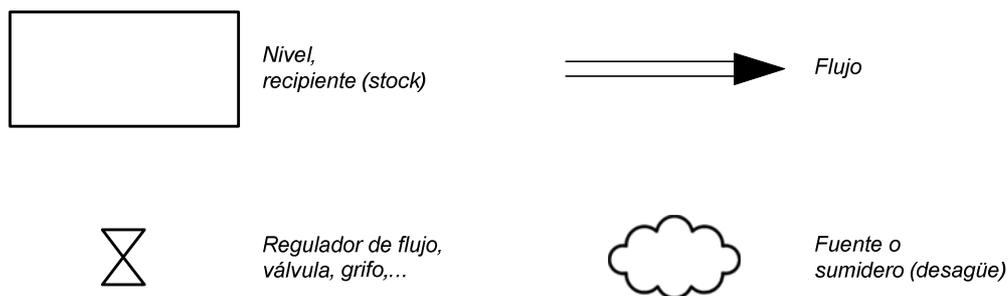


Figura 15. Notación básica de los Diagramas de Forrester.

Un Diagrama de Forrester que compone de diferentes elementos que pueden tener distinta naturaleza según el comportamiento que representen, son cuantitativos porque poseen un valor numérico en una determinada magnitud<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Como hemos señalado en la nota de pie de página<sup>23</sup>, en muchas ocasiones se deben cuantificar aspectos cualitativos o abstractos

y pueden ser internos o exógenos al sistema. Estos elementos pueden ser variables o parámetros (o coeficientes).

Las variables pueden ser de tres clases:

- Variables de nivel. Son los recipientes, las variables que acumulan magnitudes con el tiempo. Definen el estado del sistema y generan la información en la que se basan las acciones y las tomas de decisiones. Implican la inercia del sistema porque pueden producir retardos por acumulación y, como en los circuitos secuenciales de los sistemas digitales, dotan de memoria al sistema. Como se ve en la Figura 15 se representan con rectángulos.
- Variables de flujo. Simbolizan el cambio de las variables de nivel durante un periodo de tiempo. Como veremos más adelante, al representar la variación del flujo, son las derivadas de los niveles con respecto al tiempo. Estas variables suelen estar intervenidas con variables auxiliares o con coeficientes (o tasas). En la metáfora hidráulica, son los grifos o válvulas que regulan el flujo y cuya representación se muestra en la Figura 15.
- Variables auxiliares. Son variables dependientes intermedias que reciben información de otras variables que transforman en nueva información en base a una función determinada y cuya salida se dirige hacia otra variable auxiliar o hacia una variable de flujo. Se utilizan para descomponer ecuaciones complejas en ecuaciones más simples que faciliten la lectura el modelo.

La existencia de variables auxiliares evidencia la existencia de canales de información que permiten la transferencia de datos desde variables de nivel o de flujo hacia variables de flujo. No tiene sentido que un nivel reciba información directamente porque sería dimensionalmente inconsistente, dicha información se traduce en acciones de regulación del flujo, de entrada o de salida, de los niveles.



*Figura 16. Dos variables auxiliares unidas por un canal de información.*

En la Figura 16 se muestra un ejemplo de dos variables auxiliares, **Auxiliar1** y **Auxiliar2**, unidas por un canal de información. La notación de los canales de información es una línea de trazo sencillo

(mientras que un flujo es una línea con trazo doble como se ve en la Figura 15).

Pueden existir variables auxiliares independientes, pero en este caso serían coeficientes (parámetros, tasas, constantes,...) exógenos que pueden ser modificados por el usuario del modelo para regular su comportamiento.

En definitiva, dentro de esta tercera fase de modelado cuantitativo, en una primera etapa hay que trasladar el Diagrama Causal a un Diagrama de Forrester para lo cual se deben especificar las diferentes variables definiendo sus magnitudes, así como las funciones que determinen la relación entre las diferentes variables.

Como ejemplo de modelo construido con Dinámica de Sistemas, en el apartado 4.2.1 se presenta la versión sistémica del Modelo de Difusión de Bass.

### 2.2.3.2 Representación matemática

Detrás de esa metáfora hidrodinámica se esconde una estructura matemática precisa e inequívoca. Justamente el mérito de Jay Forrester ha sido enmascarar el aparato matemático del cálculo diferencial propio de los sistemas de control para facilitar la comprensión y manejo de los modelos de simulación dinámica.

Los niveles acumulan sus flujos, por tanto, un nivel será la integral de sus flujos. Si tomamos como referencia la variable **Nivel** de la Figura 14 tenemos que:

$$Nivel(t) = \int_{t_0}^t (Entrada(t) - Salida(t))dt + Nivel(t_0) \quad [Eq. 2-1]$$

En consecuencia, la variación neta de un nivel será la derivada con respecto al tiempo:

$$\frac{d(Nivel(t))}{dt} = Entrada(t) - Salida(t) \quad [Eq. 2-2]$$

En general, los flujos son función del propio y/o de otros niveles ajustados con coeficientes o parámetros.

En definitiva, el modelo matemático encerrado en un Diagrama de Forrester es un sistema de ecuaciones diferenciales que generalmente no se puede

solucionar analíticamente, por ello para generar el comportamiento del sistema a lo largo del tiempo se utilizan métodos computacionales de simulación.

### 2.2.3.3 Simulación y ecuaciones de los modelos de Dinámica de Sistemas

Acabamos de ver que los Diagramas de Forrester representan modelos continuos; sin embargo su simulación es discreta ya que se realiza por medio de un computador. Esto significa que en lugar manejar diferenciales de tiempo,  $dt$ , se utilizan incrementos o intervalos discretos de tiempo,  $\Delta t$ .

Así, la ecuación de la variable **Nivel** de la Figura 14 se debe ver como:

$$Nivel(t + \Delta t) = Nivel(t) + (Entrada(t) - Salida(t))\Delta t \quad [Eq. 2-3]$$

Ecuación que va asociada a un proceso que integra, o acumula, la variable **Nivel** en el intervalo  $\{\text{inicio}, \text{final}\}$  y que se sintetiza en el algoritmo<sup>29</sup> de la Figura 17.

```
for (t=inicio; t<=final; t=t+Δt)
    Nivel[t] = Nivel[t-1] + (Entrada-Salida);
```

Figura 17. Algoritmo de la acumulación del Nivel de la Figura 14.

La simulación de un modelo de Dinámica de Sistemas se basa en un motor que es una estructura iterativa que dura el horizonte temporal definido, por ejemplo para el mismo intervalo  $\{\text{inicio}, \text{final}\}$ , y en la que cada iteración el tiempo ( $t$ ) incrementa  $\Delta t$  como se muestra en el algoritmo de la Figura 18.

```
Inicializar Δt;
t = inicio;
while (t <= final){
    ...
    t = t + Δt;
    ...
}
```

Figura 18. Estructura del algoritmo básico del motor de simulación de Dinámica de Sistemas.

El motor de simulación en cada instante o punto de muestreo  $t$ , maneja cinco elementos de tiempo como se muestra en la Figura 19, donde además del tiempo presente ( $t$ ), el tiempo siguiente ( $t_{+1}$ ) y el tiempo anterior ( $t_{-1}$ ), se

<sup>29</sup> Los algoritmos de este subapartado están expresados en lenguaje C.

tienen en consideración tanto el intervalo siguiente  $\Delta t$  como el intervalo anterior  $\Delta t_{-1}$ .

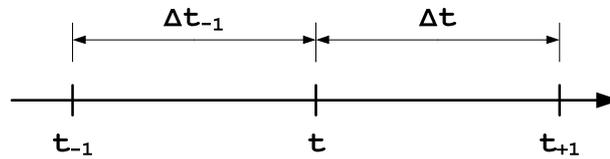


Figura 19. Visión del tiempo en el motor de simulación de Dinámica de Sistemas en el instante  $t$ .

De cara a entender el proceso básico de simulación conviene tener claro que el tratamiento y el tipo de ecuaciones de la cada tipo básico de variables (nivel, flujo y auxiliares) es diferente. Un nivel es función exclusiva del propio nivel y de los flujos asociados. Sin embargo el cálculo de las variables de flujo y auxiliares es más elaborado pues dependen de los niveles, de las variables auxiliares y de los flujos previos. También hay que tener en cuenta que los niveles se miden en los puntos de muestreo ( $t$  o  $t_{-1}$ ), mientras que los flujos se calculan en los intervalos existentes entre dos puntos de muestreo ( $\Delta t$  o  $\Delta t_{-1}$ ). Teniendo en cuenta estas consideraciones, el motor de simulación de un modelo de Dinámica de Sistemas se puede resumir en la Figura 20.

```

Inicializar parámetros;
Inicializar  $\Delta t$ ;
 $t = inicio$ ;
Inicializar niveles en  $t$ ; /*  $N[t] = N_{inicial}$ ; */
while ( $t \leq final$ ) {
    Calcular variables auxiliares en  $t$ ;
        /*  $aux[t] = f(N[t], aux[t_{-1}], flujo[\Delta t_{-1}])$ ; */
    Calcular flujos en  $\Delta t$ ;
        /*  $flujo[\Delta t] = f(N[t], aux[t], flujo[\Delta t_{-1}])$ ; */
    Calcular niveles en  $t_{+1}$ ;
        /*  $N[t_{+1}] = N[t] + \Delta t * f(flujo[\Delta t])$ ; */
    Desplazar: [ $t$ ]→[ $t_{-1}$ ]; [ $t_{+1}$ ]→[ $t$ ]; [ $\Delta t$ ]→[ $\Delta t_{-1}$ ];
     $t = t + \Delta t$ ;
}

```

Figura 20. Algoritmo básico del motor de simulación de Dinámica de Sistemas.

Hay que tener en cuenta que un modelo sistémico incluye otras funciones con cierto valor semántico como los retardos, que pueden ser de distinto orden que supone una implementación que no es trivial, y cuyo estudio y profundización no es objeto de esta tesis.

Además, el propio hecho de realizar una simulación por computador genera una serie de efectos laterales que condiciona el proceso de diseño.

- Hay que tener en cuenta que no deben utilizarse bucles de realimentación exclusivamente con variables auxiliares y flujos ya que se crearían un conjunto de ecuaciones recurrentes que no podrían solucionarse de forma secuencial ya que se producirían realimentaciones ilimitadas (como ocurre en el efecto Larsen o acoplamiento del sonido de un micrófono con el altavoz). De ahí que los bucles de realimentación deben contener al menos una variable de nivel, o un retardo, que frene dicha espiral infinita.
- Para el caso de valores menores de una unidad de tiempo, para definir el  $\Delta t$  es una buena práctica utilizar una potencia de 0.5 (0.5, 0.25, 0.125, 0.0625,...) o combinaciones de estas (0.75, 0.375,...). Esto evita errores de representación en binario de los valores absolutos menores de 1, porque el valor decimal 0.1 no se puede representar en binario de manera exacta (porque tiene infinitos decimales) mientras que las representación binaria de potencias de 0.5 ( $2^{-1}$ ) son exactas.

Hoy día se dispone de entornos de simulación muy flexibles que permiten construir un modelo de forma amigable, que generan automáticamente las ecuaciones dinámicas y que simulan los modelos en tiempo real mostrando su comportamiento. Además añaden facilidades para la verificación y validación del modelo. En el mercado existen tres suites de Dinámica de Sistemas que compiten al mismo nivel que corren solamente en entornos Windows y Macintosh, no hay versión para entornos posix (UNIX, Linux): la familia de software Vensim® de Ventana Systems Inc., Powersim Studio™ de los noruegos Powersim Software y los paquetes iThink® y STELLA® de Isee Systems (antes High Performance Systems).

En la actualidad existen sendos proyectos de desarrollo de entornos de simulación dinámica con software libre, ambos con Java: Sphinx SD Tools ([www.sphinxes.org](http://www.sphinxes.org)) y SystemDynamics ([system-dynamics.sourceforge.net](http://system-dynamics.sourceforge.net)).

El modelo final es un conjunto de ecuaciones sistémicas, que habitualmente se ejecutan por las propias aplicaciones utilizadas para el diseño del modelo. Tanto Ventana Systems como Isee Systems proporcionan sendos programas gratuitos, Vensim Model Reader e Isee Player, para ejecutar los modelos contruidos en su correspondiente formato, pero sin facilitar la opción de modificarlos.

La obtención del conjunto de ecuaciones a partir de un Diagrama de Forrester es prácticamente directa y se puede hacer manera manual porque no suele plantear problemas. Pero, como acabamos de indicar, las aplicaciones actuales de simulación dinámica las generan de forma automática. Sin embargo cada

aplicación utiliza su propia sintaxis, si bien su formato es similar. Así el Diagrama de Forrester de la Figura 14 se expresa con distintas sintaxis según utilicemos el lenguaje DYNAMO<sup>30</sup> (Eq. 2-4), Vensim® (Eq. 2-5) o iThink®/Stella® (Eq. 2-6).

$$L \text{ NIVEL.K} = \text{NIVEL.J} + \text{DT} * (\text{ENTRADA.JK} - \text{SALIDA.JK}) \quad [\text{Eq. 2-4}]$$

$$\text{Nivel} = \text{INTEG}(\text{Entrada-Salida}, \text{Nivel Inicial}) \quad [\text{Eq. 2-5}]$$

$$\text{Nivel}(t) = \text{Nivel}(t - dt) + (\text{Entrada} - \text{Salida}) * dt \quad [\text{Eq. 2-6}]$$

Como hemos señalado en el apartado 1.4, en esta tesis utilizamos Vensim® PLE Plus for Windows Version 5.9c, por lo tanto la sintaxis de las ecuaciones presentadas en esta memoria es la propia de Vensim®.

## 2.2.4 Fase de evaluación y análisis del modelo

En esta fase se somete el modelo a una serie de pruebas y análisis para evaluar su validez y calidad. Los análisis pueden ser diversos y comprenden desde la comprobación de la consistencia lógica de las hipótesis que incorpora hasta el estudio del ajuste entre las trayectorias generadas por el modelo y las identificadas en la primera fase. Así mismo, se incluyen análisis de sensibilidad que permiten determinar cuáles son los factores que más influyen en el comportamiento del modelo.

En definitiva, una vez que se ha construido el Modelo Cuantitativo conviene verificar, por un lado, que el conjunto de ecuaciones sistémicas no contiene errores y validar, por otro, que el modelo responde de forma fiable a las especificaciones planteadas en la fase de análisis del modelo conceptual.

### 2.2.4.1 Qué se entiende por validación en Dinámica de Sistemas

A la hora de evaluar la conformidad y adecuación de los modelos de Dinámica de Sistemas, conviene tener clara la diferencia entre los conceptos de verificación y de validación.

La verificación se enfoca hacia la coherencia interna del modelo. Se trata de comprobar la implementación de las instrucciones de simulación que va a ser ejecutado en un computador, es decir, si se ha construido correctamente el modelo.

---

<sup>30</sup> DYNAMO fue el primer lenguaje de simulación de Dinámica de Sistemas desarrollado en el MIT en la década de los 60 y que ha marcado el estilo de los demás lenguajes.

La validación consiste en cotejar la adecuación entre el comportamiento del modelo simulado y los requerimientos previstos por los usuarios finales. En otras palabras, comparar la ejecución del modelo programado con lo esperado, es decir, si se ha construido el modelo correcto.

La validación engloba a la verificación. Un modelo no puede ser válido si no ha sido verificado. Sin embargo, un modelo verificado puede ser inválido si representa un propósito erróneo, aunque sea sintácticamente correcto.

No existen un método universal para validar los modelos de simulación dinámica porque cada modelo se valida con respecto a sus objetivos, por lo que no se puede afirmar que un modelo válido para un contexto deba serlo necesariamente para otros. Además, aunque en teoría, un modelo puede ser válido o no, probar esto en la práctica en una cuestión muy diferente.

En este sentido, Jay Forrester afirma “que la validación, o el grado de significación de un modelo, debería ser juzgada por su conveniencia en relación a un determinado propósito. Un modelo es lógico y defendible, si consigue lo que se espera de él, (...) la validación como un concepto abstracto, divorciado de su propósito, no tiene un significado útil” [FORR61, *citado en ALVA98*].

Un modelo es una simplificación de la realidad que ha sido diseñado para responder a cierto objetivo. No se puede hablar que sea ni verdadero ni falso, lo más que puede decirse de él es que es lo suficientemente bueno para su propósito. Para entender esto existe un ejemplo sencillo, el Modelo de Gravitación Universal de Newton. El modelo newtoniano es útil en muchos casos, pero no es lo suficientemente bueno, o no es válido, en algunas áreas de la física moderna. La expresión “no es lo suficientemente bueno” es la clave.

La validación es un concepto que deviene circunstancial porque para una misma realidad pueden existir diferentes modelos y porque es inútil tratar de establecer que un modelo es útil sin especificar para qué propósito va a ser usado [ALVA98]. Es más, John D. Sterman llegando al paroxismo sostiene, y argumenta, que “de hecho, la validación y la verificación de modelos es imposible” [STER00]. Por esta razón se aborda más como un arte que como una ciencia.

Además, se ha de tener presente que en un modelo se pueden excluir aspectos del sistema real que se considera que no son importantes para responder a las cuestiones planteadas sobre el sistema. No se puede perseguir que el modelo sea perfecto; pues el modelo perfecto es el propio sistema real [KLEI95, *citado en ALVA98*].

Por eso mismo se habla de la confianza que pueda generar el modelo. Por lo tanto, más que intentar demostrar que un modelo sea correcto lo que se hace es probar que el modelo no sea incorrecto. Es decir, el objetivo de la validación es aumentar la confianza en el modelo y sus resultados.

#### 2.2.4.2 Jerarquía de validación<sup>31</sup> del modelo

A la hora de comprobar la adecuación de un modelo dinámico con el propósito que ha sido desarrollado, se han ido aportando y enriqueciendo diferentes propuestas relacionadas y análogas [FORR61, COYL77, FORR80, LYNE80, RICH81, STER84, WOLS90, LANE95, BARL96, COYL96, RICH96, ARTH99, COYL00, STER00]. Esta evolución podemos condensarla en los siguientes momentos:

- En 1961 Jay Forrester publica su libro “*Industrial Dynamics*” [FORR61] en el que subraya que la defensa de un modelo debe basarse sobre la defensa de sus detalles. El comportamiento de los gráficos de las variables seleccionadas no es garantía de validez dado que “puede existir una gran variedad de componentes inválidos (ecuaciones) que aparentemente muestren el mismo comportamiento del sistema”. Para ello, incide en que las ecuaciones deben ser dimensionalmente consistentes y que todas las constantes en un modelo deben estar claramente definidas y sus dimensiones indicadas.

Forrester afirman que el comportamiento de un modelo debe ser comprobado cuidadosamente, ya que “los defectos serios del modelo normalmente se manifestarán a través de algún fallo del modelo al querer reproducir lo que se espera del sistema real”. Se muestra intransigente cuando afirma que “se podrán realizar mejoras sólo si (el modelo) representa el sistema real, no porque soluciona el problema”.

- En 1980, Jay Forrester y Peter Senge [FORR80] proponen pruebas objetivas de validez. Hacen hincapié en que un modelo es construido para un propósito y su validez está determinada fundamentalmente por el grado en que se cumple ese propósito. Ponen especial énfasis en los límites del modelo, reconociendo que un modelo es una simplificación y que el límite entre lo que se ha incluido y lo que no, es un determinante significativo de la validez del modelo. En consecuencia, proponen una serie de pruebas de la estructura del modelo, del comportamiento y de las implicaciones de la política.

---

<sup>31</sup> Lo apropiado sería referirse como generación de confianza en las conclusiones que pueden extraerse de los resultados de un modelo; sin embargo, se habla de validación porque es más cómodo (más abreviado), pero siempre teniendo en mente que no se debe confundir validez con verdad. Además, también hay que tener en cuenta que la validación subsume la verificación.

- En 1996, Yaman Barlas [BARL96] desarrolla la idea de que la validación en Dinámica del Sistemas se basa en un enfoque relativo en lugar de absoluto, aunque ello no excluye el uso de pruebas formales. Apoya la opinión de Forrester de que la defensa de un modelo se base en la defensa de sus detalles.

Barlas analiza las limitaciones del uso de pruebas estadísticas sobre las salidas de un modelo de Dinámica de Sistemas y los datos del mundo real. Afirma que las pruebas deberían centrarse en la validación de los patrones de comportamiento del modelo, más que en comprobar la coincidencia entre los datos reales y los generados por el modelo, ya que, como había señalado John Sterman [STER84], una reproducción del comportamiento del sistema, dato por dato, es prácticamente imposible, aun cuando el modelo sea estructuralmente adecuado.

- También en 1996, es Geoff Coyle [COYL96] quien asocia la validez de un modelo a que esté “bien adaptado a su propósito y correctamente construido”. Su filosofía principal es que “el modelo debe hacer las mismas cosas que el sistema real y por las mismas razones”. Coyle insiste en la coherencia dimensional, y propone las reglas para ello. Subraya la necesidad de la correspondencia entre el modelo y el problema, y en que todas las constantes deben definirse adecuadamente y que sus dimensiones deben ser indicadas, como había propuesto Forrester [FORR61].

El conjunto de métodos y enfoques de validación los hemos resumido en la jerarquía de evaluación y análisis de la Figura 21. Siguiendo básicamente la ruta establecida por Forrester y Senge, el proceso de validación es un proceso incremental, en el que en una primera fase se debe validar la arquitectura del modelo. Esto significa analizar tanto la estructura como el comportamiento, o funcionamiento, del mismo. Para lo cual se debe llevar a cabo la verificación estructural y, a continuación, la validación, propiamente dicha, del comportamiento.

Una vez generada la confianza en la arquitectura del modelo, es decir, en la estructura y el comportamiento, se puede utilizar para diseñar las diferentes políticas y analizar sus implicaciones. Pero para aumentar la confianza en el modelo como instrumento para la toma de decisiones, una buena práctica es analizar diferentes escenarios que puedan añadir valor a la significación y alcance del modelo.

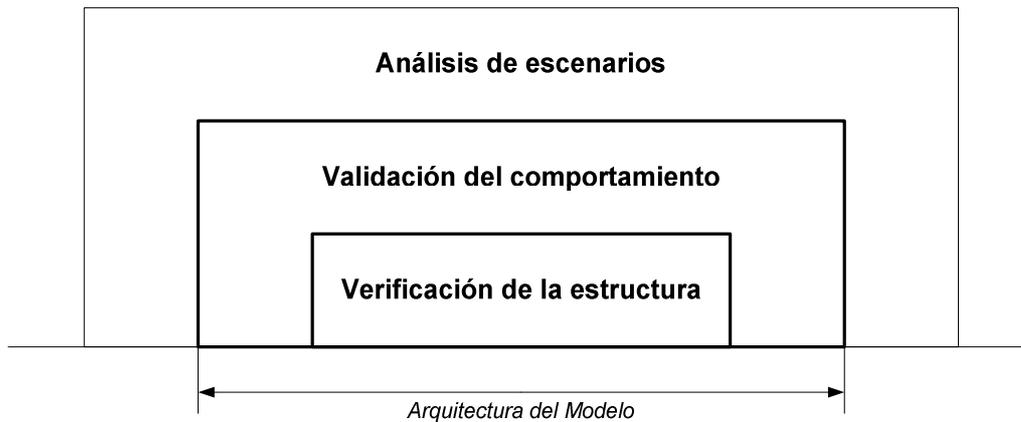


Figura 21. Jerarquía de validación del modelo.

### Verificación de la estructura

La verificación, como hemos indicado, significa asegurarse de que sus ecuaciones son técnicamente correctas. Como hemos visto, desde un principio ha sido el propio Forrester quien ha insistido en que las ecuaciones deben ser dimensionalmente consistentes y que las variables y los parámetros deben estar claramente especificados.

En la medida en que un modelo pasa las pruebas de verificación y que su estructura es sólida y fundamentada tiene ese primer nivel de validez. Un modelo puede, pasar muchas pruebas, pero no se debe obviar una que es absolutamente esencial en Dinámica de Sistemas como la consistencia dimensional. Si no supera esta prueba el modelo será inválido, y por lo tanto inútil, dado que no se puede saber qué confianza se puede tener en sus resultados.

La aplicación Vensim® PLE Plus, de entre el conjunto de herramientas de análisis de que dispone, proporciona dos herramientas para verificar el modelo. Por un lado dispone de una función para revisar la sintaxis del modelo (*Check Model*) y por otro de una función para detectar errores en la coherencia de las unidades (*Units Check*).

Los diagramas, y subdiagramas, de Forrester que presentamos en esta tesis están verificadas tanto la sintaxis como la coherencia de unidades o dimensional. No vamos a hacer referencia expresa a estos procesos de verificación porque es una labor trivial con el uso de la aplicación<sup>32</sup> y que se puede comprobar con las ecuaciones del modelo que se adjuntan en su totalidad en el Anexo 2.

<sup>32</sup> Ventana Systems, Inc. proporciona una versión simplificada de Vensim® gratuita para uso personal o educativo (si bien es *shareware* para usos comerciales), que es Vensim® PLE (*Personal Learning Edition*) y que se puede descargar desde <http://www.vensim.com/venple.html>.

## Validación del comportamiento

Como hemos indicado, el objetivo de la validación del comportamiento del modelo es evaluar la adecuación de las simulaciones con el comportamiento observado del sistema real. Tiene un propósito similar a las pruebas estadísticas convencionales de bondad de ajuste. Sin embargo, las pruebas de comportamiento suelen ser menos formales que los métodos de regresión o los test de significación estadística, ya que a menudo estos se basan en criterios visuales para calibrar la bondad de ajuste como la forma, la escala y la sincronización de las trayectorias simuladas con respecto a series temporales de datos reales. A diferencia de los métodos de regresión, las pruebas de comportamiento no implican la estimación estadística de los parámetros para lograr un mejor ajuste con las series temporales [MORE07].

Por lo tanto, la validación es un proceso con el cuál se mejora gradualmente la confianza en un modelo. Cuando se tiene confianza en la capacidad del modelo para reproducir los comportamientos previstos del sistema, se puede utilizar como herramienta de análisis y aprendizaje, así como para ofrecer soluciones al problema, facilitar mejoras y proponer recomendaciones. La validación del comportamiento del modelo la basamos en dos métodos habituales:

- **Reproducción del comportamiento previsto.** Desde sus inicios, la Dinámica de Sistemas ha vinculado la validación de un modelo con su objetivo. Como acabamos de reseñar, Forrester y Senge insisten en que un modelo se construye con una finalidad determinada y que su validez está determinada por el grado en que cumple dicho fin [FORR80].

El objetivo es comprobar la similitud entre el comportamiento generado por el modelo y el del observado y/o previsible del sistema real. Para ello conviene analizar si el modelo reproduce, o no, los síntomas que han motivado su construcción; si el modelo recrea las frecuencias, fluctuaciones y fases previstas. El interés debe dirigirse a conocer la naturaleza dinámica de una determinada situación y en identificar las condiciones que conducen a la misma, y no debe enfocarse en conocer el momento exacto en que ocurrirá.

Por lo tanto, en esta fase se realiza el análisis de la concordancia del modelo con los correspondientes modos de referencia (ver apartado 2.2.1), es decir, se trata de comprobar que las salidas del Modelo Cuantitativo construido confirme los modos de referencia definidos. Para ello se deberá calibrar el mismo, estimando y ajustando los parámetros utilizados (normalmente no se añaden parámetros nuevos que cambien la estructura del modelo).

- **Análisis de Sensibilidad.** La finalidad de esta fase es examinar la consistencia del modelo ante cambios en los valores de los parámetros. Se busca constatar si posibles cambios en los parámetros del modelo pueden causar, o no, desviaciones en las pruebas de comportamiento ya realizadas. Se emplea para analizar el impacto que causan los diferentes valores de los parámetros sobre el comportamiento del sistema.

Tanto el modelo como el sistema real suelen mostrarse insensibles ante perturbaciones en la mayor parte de los parámetros, siendo en ocasiones muy sensibles ante variaciones en los valores de determinados parámetros. Sin embargo, esto no invalida el modelo necesariamente, ya que si el sistema real se muestra tan sensible a los parámetros como el modelo, a pesar de que las variaciones en los parámetros produzcan comportamientos inadecuados. Dicha sensibilidad debería ser una importante fuente de prospectiva de políticas alternativas. Por tanto, estos coeficientes actuarán como factores o puntos clave de intervención<sup>33</sup> que pueden conducir a mejoras significativas.

La técnica radica en un proceso iterativo de modificación de los valores adoptados para los parámetros del modelo y examinar la salida resultante. El método manual consiste en cambiar el valor de uno (o varios parámetros a la vez) y realizar la simulación; a continuación, volver a cambiar el valor del parámetro y simular de nuevo; y repetir esta acción diversas veces hasta conseguir un abanico de valores de la salida.

El objetivo es poder analizar cómo el cambio de una variable incide en el resultado y detectar las variables críticas que más afectan al resultado, para las cuales el modelo es más sensible; y localizar las variables que tienen poca influencia en el comportamiento del modelo.

La aplicación Vensim® PLE Plus proporciona la herramienta *Sensitivity Testing* que se basa en el Método de Monte Carlo, también conocido como Simulación de Sensibilidad Multivariable (*MVSS*, *Multivariate Sensitivity Simulation*). Este método realiza el procedimiento de manera automática y permite ejecutar un número elevado de simulaciones con los parámetros muestreados sobre un rango de valores y almacenar la salida para su análisis posterior.

---

<sup>33</sup> El término original es “*leverage point*” que se suele traducir como “punto de apalancamiento” (punto donde hacer palanca). Sin embargo, en España el término “apalancamiento” se utiliza normalmente con otro significado, se suele entender como la acción y efecto de apalancarse (acomodarse, apoltronarse, gandulear), precisamente lo contrario de lo que se quiere indicar con “*leverage point*”.

### **Análisis de escenarios**

En el mundo real las variables suelen estar interrelacionadas, por lo cual necesitamos una metodología que nos permita observar cuál es el efecto de algunas combinaciones posibles, incluso poco probables. Por lo tanto, de cara a aumentar la confianza en el modelo, se necesita comprobar la robustez y la elasticidad del modelo ante cambios significativos en el entorno del mismo, por medio del análisis del funcionamiento de una serie de escenarios alternativos y representativos.

Los modelos deben ser probados en condiciones extremas, condiciones que quizá nunca se hayan dado en el mundo real. Y aunque dichas condiciones nunca se hayan observado o no se vayan a dar, no debería quedar duda sobre cuál debería ser el comportamiento del sistema para dichos casos. Conviene tener en cuenta que cuando se lleva el modelo a condiciones extremas, al igual que en los sistemas reales, puede aparecer el efecto de no linealidades cuyo impacto combinado no suele ser necesariamente la suma de los impactos individuales. Las pruebas en condiciones extremas son herramientas clave para descubrir defectos del modelo y para fijar las bases para una comprensión mejor.

En ocasiones la simulación del modelo puede dar como resultado un comportamiento inesperado. Esta circunstancia no tiene porque hacer desconfiar del modelo, sino que debe entenderse como una oportunidad para comprender las causas que lo originan. La posibilidad de reconocer, y explicar, comportamientos no identificados *a priori* contribuye igualmente a incrementar la confianza en la utilidad del modelo.

Un modelo que sólo se comporte aceptablemente bajo determinadas condiciones controladas, sólo puede ser útil para analizar políticas que hagan que el sistema actúe dentro de dichos límites. Por lo tanto, incorporar al modelo el conocimiento sobre condiciones extremas mejora la comprensión y utilidad del mismo y, por ende, su confianza.

El análisis de escenarios refuerza la confianza en el modelo porque ayuda a superar la comodidad de planificar sobre la base de las mejores predicciones, ya sea por un exceso de confianza o por temor a la incertidumbre que conlleva cualquier planificación. Mejora y amplía la calidad del enfoque estratégico ya que con su uso se pueden tomar decisiones en el contexto de los diferentes futuros que pudieran llegar a pasar. El propio hecho de plantear los escenarios apropiados obliga a afrontar suposiciones sobre el futuro; y el acto de ensayar planes y tomas de decisiones sobre un modelo puede facilitar que se desarrollen estrategias robustas incluso si las circunstancias cambian.

### **2.2.4.3 Evaluación del aprendizaje**

Las pruebas de evaluación del aprendizaje tienen como objetivo valorar si los usuarios del modelo han obtenido una visión nueva de la estructura del sistema o han aprendido algo nuevo sobre el comportamiento del sistema real. Estas pruebas se dirigen hacia la correspondencia entre los modelos mentales y los modelos formales. Se diferencian de las demás pruebas porque se centran en aspectos más abstractos del proceso de modelado, no tanto en el ajuste del modelo con el mundo real, sino más bien en la capacidad de influir en la manera en que los usuarios interpretan su entorno. Esta fase de modelado interactúa con un nivel organizacional más global que implica modelos mentales, decisiones y evaluación de resultados.

El proceso de aprendizaje es lento e imperfecto porque los experimentos a nivel de la organización tardan mucho tiempo en llevarse a cabo y porque los modelos mentales son resistentes al cambio. Además, la evaluación de los resultados es irregular y difícil de interpretar [MORE07]. Los modelos formales pueden acelerar este ciclo de aprendizaje al facilitar una visión nueva de la estructura del sistema y del comportamiento dinámico. En cualquier caso, esta fase está fuera del alcance de esta tesis.

### **3 Barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información**

*“Si no viere en sus manos la señal de los clavos, y metiere mi dedo en el lugar de los clavos, y metiere mi mano en su costado, no creeré”.*

*-San Juan, 20:25-*

*“Nada hay más difícil de llevar a cabo, ni de éxito más dudoso, ni más peligroso de manejar, que iniciar un nuevo orden de cosas. El reformador encuentra enemigos en todos aquéllos que se benefician del viejo orden, y sólo tibios partidarios en aquéllos que podrían beneficiarse del orden nuevo; tal tibieza es causada en parte por temor de sus adversarios que tienen a las leyes en su favor y parcialmente por la incredulidad humana que no cree verdaderamente en algo nuevo hasta que no lo ha experimentado”.*

*-“El Príncipe”, Nicolás Maquiavelo-*

La acción de las personas crea y cambia la tecnología y, al mismo tiempo, los seres humanos utilizan la tecnología para crear y cambiar. Esta idea recursiva de la tecnología es lo que Wanda Orlikowski denomina la Dualidad de la Tecnología [ORLI92]. Esta tesis no se puede entender sin las aportaciones de esta profesora de Organización y de Tecnologías de la Información de la *Sloan School of Management* del MIT. De entre las numerosas publicaciones de Wanda Orlikowski, son especialmente referidos sus trabajos sobre la implementación y el uso de las tecnologías de la información dentro de las organizaciones sobre la base de la Teoría de la Estructuración de Giddens<sup>34</sup>.

Wanda Orlikowski entiende que las organizaciones en la nueva economía tienen que ser flexibles y estar en constante cambio [ORLI96]. Critica los enfoques que sugieren que las organizaciones son internamente estables. Estos enfoques son [ORLI96]:

- Cambio planificado. Los gestores son el origen de cualquier cambio, pero ¿el cambio es algo que puede ser visto como gestionable por separado del conjunto de la organización?
- Imperativo tecnológico. La tecnología es la fuerza motriz. Esto implica que no hay agentes y que los cambios realizados por una tecnología serán predecibles e iguales para cada implementación.
- Equilibrio interrumpido. El cambio es rápido y significativo, pero periódico.

Orlikowski sugiere que el cambio es una creación constante de los actores, un proceso que no está limitado a un determinado momento o lugar. “El cambio puede que no sea siempre como estaba previsto, inevitable o cíclico como nos lo imaginamos” [ORLI96], y puede suceder inconscientemente. Demuestra el carácter sistémico de los cambios planificados porque pueden tener numerosos

---

<sup>34</sup> Anthony Giddens es Premio Príncipe de Asturias de Ciencias Sociales en el año 2002, renovador de la socialdemocracia a través de su teoría de la Tercera Vía, asesor de Tony Blair y autor de la Teoría de la Estructuración [GIDD79, GIDD84]. La teoría de la estructuración es un intento de conciliar distintas dicotomías teóricas de los sistemas sociales, como los enfoques acción/estructura, subjetivo/objetivo y micro/macro. No se centra o en el actor individual o en la estructura social, sino que afirma que hay un proceso dinámico que involucra a ambos en una relación de interdependencia ordenada en el espacio y el tiempo. Adopta esta posición de equilibrio, con la intención de tratar por igual las influencias tanto de la estructura (que incluye a la cultura) como de los agentes (o actores). La estructura social es entendida como un conjunto de reglas y recursos. Dicha estructura social es dual, lo que significa que posee recursos que son los que usa el agente y reglas que limitan al agente. La actuación del agente es una intervención intencionada, aunque sea inconsciente, sobre la que el sujeto puede reflexionar y de la que es responsable, que depende no tanto de las intenciones del sujeto sino de su capacidad y que no está determinada sino que es circunstancial y variable, en el sentido de que el actor tiene la posibilidad de actuar de otra manera.

efectos secundarios. Se pueden producir reajustes y mejoras graduales, y resultados no previstos pueden comportar una alteración tanto de las prácticas de trabajo como de la cultura de la organización. Como ella señala, “la acción diaria de miembros de la organización produce, reproduce y cambia sus estructuras organizativas”. Cada cambio crea la posibilidad de nuevos cambios. Orlikowski llama a esta teoría el enfoque del cambio contextualizado<sup>35</sup> y lo que pretende es complementar los otros tres enfoques, más que sustituirlos. La tecnología es vista como un conjunto de habilitaciones y restricciones, que determinan la acción de las personas y que a su vez está determinada por esta.

### **3.1 Cambiar**

Realizar un cambio implica un acto de fe porque se decide avanzar hacia lo desconocido con la esperanza de encontrar algo mejor, pero sin tener la certeza de ello. Aceptar este acto de fe es arriesgado, y las personas sólo damos pasos hacia lo desconocido si verdaderamente creemos que el riesgo de permanecer en el estado actual es mayor que el riesgo de avanzar en una nueva dirección. Hacer un cambio implica, sobre todo, gestionar el riesgo.

Si bien no es objeto de esta tesis profundizar en los diferentes marcos teóricos sobre la gestión del cambio, entendemos que es conveniente considerar este área de cara a entender y determinar las principales barreras que pueden surgir en la adopción de innovaciones tecnológicas y de gestión, y que servirán de base para la definición de las principales variables que conformarán el modelo.

Seth Godin [GODI02] ha aportado en los últimos años un enfoque interesante que, por medio de la metáfora de la evolución de las especies de Darwin, propone un punto de vista nuevo de la gestión del cambio. En lugar de ver el ciclo de vida de una organización como una serie de periodos de estabilidad interrumpidos por fases de cambio, sugiere verlo como un proceso de cambio con momentos eventuales de estabilidad. Utiliza el símil darwiniano para recalcar que las organizaciones, al igual que las especies, se adaptan al cambio evolucionando; ya que si una especie no es capaz de adaptarse a los cambios del entorno, desaparece. Sin embargo, la visión de las organizaciones es más lamarkista porque mientras que los seres vivos no pueden hacer nada para adaptarse a su entorno, las organizaciones tienen la capacidad de transformarse e influir en su destino.

Por otro lado, Seth Godin evita dar un mensaje apocalíptico y reorienta la perspectiva de cómo abordar el cambio, pasando de ver el cambio como un

---

<sup>35</sup> Con “Situating Change”, la autora se refiere al cambio dependiente de la situación, del entorno, del contexto.

peligro de extinción a encararlo como una oportunidad. El cambio presenta nuevas oportunidades de mejora, de negocio o de que las personas progresen. Sin embargo, la realidad nos dice que las organizaciones convierten sus oportunidades en problemas por el miedo a que el cambio les resulte perjudicial.

Las organizaciones están formadas por personas y, al igual que las especies, deben enfrentarse a cambios del entorno. Pero a diferencia de estas, en las organizaciones existen dos factores que juegan un papel fundamental en el éxito de la adaptación: el factor racional y el factor emocional. Los enfoques desde el punto de vista racional están más aceptados y estructurados, quizás porque son más fáciles de admitir por nuestro pensamiento lógico. Un ejemplo de ello es el *Balanced Scorecard* de Kaplan y Norton [KAPL96] que guía a una organización en el proceso de adaptación al cambio en términos de visión y estrategia.

Sin embargo, los factores que se ocupan del nivel emocional son menos conocidos, o al menos, son más difíciles de comprender. Y si bien no toda la resistencia es emocional y es conocido que se debe actuar tanto en un plano racional como en uno emocional, las causas emocionales suelen ser las que comprometen el éxito de un proceso de cambio. Cuando un grupo de personas emprende cualquier proceso, actúa en estas dos dimensiones. Por un lado trabajará en una dimensión, la racional, donde los objetivos y las tareas están definidas y procedimentadas, y que serán medidas y evaluadas con un conjunto de indicadores. Y por otro, en una dimensión no visible pero igualmente presente, la de gestionar las emociones de las personas del grupo. Pasar de una forma conocida de funcionar a otra que no se domina puede activar emociones que reduzcan la capacidad de pensar y actuar racionalmente, emociones relacionadas con el miedo a la incertidumbre o con la falta de autoestima. Y esas emociones, generalmente inconscientes, son perturbadoras y generan ansiedad.

“El cambio es un arma de doble filo. En estos días, su ritmo implacable hace que nuestros pies salgan corriendo. Sin embargo, cuando las cosas son inciertas podemos encontrar nuevas formas de avanzar y de lograr progresos imposibles en sociedades estancadas. Si se pide a la gente una lluvia de ideas sobre palabras para describir el cambio, surgirá una mezcla de términos negativos y positivos. Por un lado, miedo, ansiedad, pérdida, peligro, pánico y, por otro, bienestar, asunción de riesgos, entusiasmo, mejoras, dinamismo. Para bien o para mal, el cambio despierta emociones” [FULL01].

Para la mayoría de las personas ver es creer, y nos encontramos con que las personas no suelen tener referencias que les guíen en las actividades nuevas;

desconfían de la retórica y reclaman evidencias. Las personas temen no tener las competencias necesarias para poder cambiar y este es un miedo que las personas rara vez admiten y este va a ser uno de los factores novedosos en nuestro modelo. Sin embargo, a veces, el cambio en las organizaciones requiere cambios en las habilidades de las personas, y algunas de ellas pueden sentir que no serán capaces de hacerlo bien.

Otro elemento que influye negativamente es la fatiga. Cuando se está realizando un esfuerzo de cambio, se debe ser consciente de que la fatiga puede ser un factor que impida a las personas avanzar, aunque crean en el beneficio de la idea. Si una organización ha atravesado periodos de transformaciones, las personas pueden resistirse al cambio simplemente porque están cansadas y desbordadas. Incluso el propio estrés que genera un cambio puede producir su propia fatiga.

Por otro lado, el puesto de trabajo suele proporcionar sentido de identidad a las personas y estas pueden sentir que los beneficios propios de su puesto de trabajo se perderán con el cambio. Además, un cambio dibuja un nuevo croquis de la organización, y un reajuste del diseño puede generar ganadores y perdedores. Algunas personas estarán posicionadas en contra del cambio porque percibirán al cambio como contrario a sus intereses.

Por último, las personas pueden desconfiar de las intenciones de los líderes. Promover el cambio en una organización, no sólo puede provocar resistencia por alterar el orden establecido o por propias inseguridades, también puede ser porque los gestores generen desconfianza o porque sean sospechosos de querer aumentar su propio poder. Y este brote paranoico puede estar justificado porque la historia está llena de grandes equivocaciones provocadas por personas sensatas que realmente creían que sabían lo que era mejor para los demás.

### **3.2 *La literatura sobre el fracaso de la implementación de tecnologías de la información debido a las personas***

Si bien la literatura es abundante en el estudio de sistemas tecnológicos implantados con éxito, por el contrario no ocurre lo mismo cuando se trata de hacer públicos los fracasos en la adopción de sistemas de información. La realidad es que la mayoría de las tentativas de introducir nueva tecnología en organizaciones encuentra su fin antes de que se pongan completamente en marcha o muy poco después [RIZZ03]. Y aunque la mayoría de las veces, los costes de planificación y de implementación se destinan a aspectos técnicos, el que falle la tecnología no es la razón primera del fracaso. Como hemos reseñado con anterioridad, hay que culpar al aspecto humano de la gestión del

cambio y de la adopción de la tecnología [KLEI01]. Y aunque a menudo se culpe de los fracasos de implementación tecnológica a cuestiones relacionadas con las personas, las investigaciones sobre las conductas y actitudes humanas que se resisten a la innovación en el entorno de trabajo son disjuntas y se dispersan a través de múltiples disciplinas y carecen de una teoría integrada [SHRI03]. Además están dominadas por estudios de caso único en la que apenas se encuentran muy pocos artículos que ofrecen una síntesis multidisciplinaria de la bibliografía [KLEI96, LYYT87, MCAF03, SOKO94, RIZZ03, RIZZ07]. Por lo tanto, se sabe poco sobre el nivel de sintonía de la literatura que se refiere a las dimensiones humanas de la implementación de tecnologías de la información o de la evolución del discurso a lo largo del tiempo. En este sentido son de agradecer los esfuerzos de revisión y de síntesis de las principales barreras humanas a la implementación de nuevas tecnologías realizados por autores como Marc Sokol [SOKO94], Andrew McAfee [MCAF03] o Tracey Rizzuto [RIZZ03, RIZZ07], que ayudan a avanzar en la teoría, diagnóstico y estrategias de intervención para hacer frente a las resistencias a la adopción de tecnologías de la información relacionadas con personas.

#### **3.2.1 Síntomas del fracaso de las implementaciones**

Como acabamos de indicar, el conocimiento práctico sobre la adopción de sistemas de información es abundante y variada, pero disgregada. Sin embargo, existe una labor de síntesis y resumen de esta literatura que puede facilitar el diagnóstico del problema y las intervenciones de la implementación de la tecnología que es el realizado por Andrew McAfee [MCAF03].

McAfee realiza un estudio de los síntomas que se consideran que son representativas del fracaso de la implementación de nuevas tecnologías. Considera que existen cinco indicadores del fracaso de una determinada implementación: la inercia, la resistencia, las especificaciones erróneas, el mal uso y el no uso. Estas barreras a menudo coexisten en el mismo contexto y por tanto las organizaciones deben ser capaces de diagnosticar y remediar estos tipos de fracasos tanto separada como conjuntamente.

- La inercia es la falta de progreso a lo largo el tiempo en hitos y decisiones de la implementación, incluso después de todas las partes hayan convenido que el esfuerzo merece la pena. La inercia es característica de implementaciones complejas que implican numerosos procesos nuevos o múltiples componentes. Dicha complejidad puede crear incertidumbre y desconfianza que, a su vez, pueden provocar que las organizaciones avancen más lentamente.

- La resistencia surge cuando las personas discrepan sobre cómo o sobre si se debe proceder con una implementación. Este tipo de fracaso de la implementación es típico de innovaciones que son particularmente novedosas -un abandono significativo del método tradicional del trabajo-. A diferencia de la inercia, la resistencia está marcada a menudo por la hostilidad y por una atmósfera de polémica envuelta en debates sobre la implementación.
- Cuando existe una mala comunicación entre los diseñadores de sistema y la organización que necesita el sistema aparecen especificaciones erróneas. El nuevo sistema funciona desde un punto de vista puramente técnico, pero no logra lo que esperaba o deseaba la organización. El riesgo de este obstáculo aumenta con la complejidad del sistema, o cuando la organización modifica el sistema para funcionar de manera diferente a los requerimientos con que fue diseñada.
- El mal uso es la operación incorrecta o incompleta del sistema implementado. Los usuarios son propensos a malos usos cuando no están familiarizados con la tecnología, lo que ocurre cuando el sistema se utiliza para los propósitos no planificados o cuando no se ha percibido todo el potencial del sistema. En último caso, el sistema nunca se implementa totalmente.
- El no uso, por otra parte, llega a ser evidente cuando el uso de la tecnología es discrecional. Cuando la tecnología afecta a las tareas principales o es altamente novedosa, las personas pueden elegir ignorar el sistema más que adquirir nuevas competencias o aplicar nuevos métodos de trabajo. El no uso es difícil de detectar inmediatamente, pero se hace cada vez más evidente con el tiempo.

### **3.2.2 Causas de las barreras a la implementación**

Con anterioridad Marc Sokol [SOKO94] había establecido un marco para la clasificación de las barreras humanas que conducen al fracaso de la implementación considerando la manera en que las personas en las organizaciones perciben, toman decisiones y reaccionan ante la tecnología puede ser una causa de dichas barreras. Estas se pueden agrupar en cinco categorías.

- La formación es considerada un factor clave para facilitar la adaptación de la tecnología. Concretamente la actitud hacia el nuevo sistema y la eficacia de su uso depende de la calidad de dicha formación, del momento en que se realiza con respecto a la implantación de la tecnología y de la selección de quién debe recibir la formación.

Además, una formación inadecuada puede tener un impacto perjudicial para la implementación.

- El reconocimiento hace referencia a los incentivos que pueden motivar el uso de la tecnología o corregir las actitudes hacia la tecnología. Cuando los sistemas de reconocimiento están mal alineados pueden surgir sentimientos no deseados. Por ejemplo, los usuarios pueden ser reacios a compartir su conocimiento experto con otros compañeros en un sistema de gestión del conocimiento, si facilitar dicha información personal puede significar la pérdida de poder o una devaluación de su conocimiento (es decir, el valor de ser un experto disminuye una vez que el conocimiento único se comparte con los demás -todos serían expertos-). A menos que las estructuras de reconocimiento compensen estas consecuencias no deseadas del uso del sistema, las personas pueden considerar que retener el conocimiento sea más beneficioso que socializarlo.
- La participación es la manera en que las personas piensan, sienten, creen y esperan que los efectos de la tecnología se manifiesten durante y después de la implementación. Si las personas en las organizaciones comparten actitudes positivas sobre la tecnología, la organización cree tener un clima más optimista para la innovación. Las actitudes de los usuarios están influidas por las actitudes de sus pares y supervisores, además de la experiencia particular en la tecnología.
- Si no existen mecanismos de realimentación que apoyen la comunicación y la evaluación de la funcionalidad del sistema nos encontraremos en una situación de riesgo porque puede crear incertidumbre en las tareas, perpetuación de un sistema ineficaz, o puede inhibir la diagnosis de los problemas y el mantenimiento del sistema, dificultando el aprendizaje.
- Otra causa de problemas surge de la gestión del ciclo de vida del proceso de introducción de innovaciones. Tradicionalmente, la mayoría de los recursos se han dedicado a la etapa de planificación de la intervención, con una dedicación sensiblemente menor a la implementación y, muy rara vez, implican el mantenimiento y la evaluación.

### **3.2.3 Puntos clave para el éxito de una implementación**

La literatura está plagada de sugerencias para hacer frente a las barreras que las personas encuentran en la implementación de tecnologías de la información. Sin embargo, parafraseando a Francisco de Quevedo, “el exceso

es el veneno de la razón” y en este caso el exceso de conocimiento es ineficaz [RIZZ07]. Autores como Andrew McAfee [MCAF03] o Tracey Rizzuto [RIZZ03] han realizado un esfuerzo de síntesis acerca de los elementos que inciden en la toma de decisiones y que pueden impedir o facilitar la propia implementación. Han sintetizado esta información en forma de un marco de cinco recomendaciones o directrices que los gestores pueden utilizar como ayuda para prevenir y superar barreras humanas que generan el fracaso de la implementación de tecnologías de la información. Estos puntos de actuación son: el liderazgo del proyecto, el alcance del proyecto, el ritmo del proyecto, el estilo de dirección y la preparación organizacional.

- El liderazgo del proyecto se refiere al apoyo vertical dentro de una organización. Un liderazgo facilitador puede influir en la cantidad de recursos dedicados a una implementación de tecnologías de la información [KLEI01]. Además, la forma en cómo los líderes enfocan las tecnologías de la información puede influir en cómo se perciban los nuevos sistemas y en favorecer el éxito de la implementación [EDMO03].
- El alcance del proyecto es la magnitud del cambio que un sistema nuevo introduce en una organización. Algunos proyectos tienen impacto limitado, mientras que otros son de mayor escala y requieren ajustes sensibles en los procesos y en la cultura [SHRI03]. Para apoyar a que el alcance contribuya a una mayor eficiencia de las implementaciones, las recomendaciones van desde introducir incrementalmente cada componente del sistema hasta tener en consideración y valorar el tamaño de la organización en relación con la complejidad del sistema [MART02].
- El ritmo del proyecto se refiere a la cadencia, al *tempo* de la implementación. Algunos sistemas se introducen gradualmente, mientras que otros ocurren bruscamente, lo que en algunos entornos se conoce como de tipo “*big bang*”. El ritmo marcado por la estrategia es crítico para el éxito y un indicador de una implementación problemática es la despreocupación por los cronogramas y las agendas [TYRE94].
- Por estilo de dirección se entiende la manera en que los dirigentes de la organización implican a los empleados a participar en la implementación de las tecnologías de la información. Los enfoques clásicos “*top-down*” para los procesos de transición hacia el uso de tecnologías de la información aportan muy poco a los usuarios de sistema porque descuidan la implicación de los empleados y de los usuarios del sistema en el proceso de decisión. Otros estilos de gestión

fomentan la participación de las personas y son más generadores de consenso en todos los niveles de la organización. El estilo de dirección puede afectar enormemente a las actitudes de los empleados hacia la adopción y uso de la tecnología. Los estilos que animan, apoyan y enfocan positivamente la implementación de tecnologías de la información aumentan las probabilidades de éxito de dicha implementación [EDMO03].

- La preparación organizacional es el grado de anticipación de la planificación, diseño y apoyo estructural comprometido por la organización. Según Sterling, alinear tecnologías de la información con estrategia es un proceso crítico para el éxito de la implementación [STER03]. Si bien la planificación estratégica es un proceso dinámico que realmente nunca termina y que formalmente se revisa cada tres o cinco años; lo que se sí realiza continuamente es la implementación, la medición y la evaluación, de acuerdo a una política y estrategia. De cara a una preparación adecuada las organizaciones deben analizar el impacto de un nuevo sistema en los procesos de la misma y su compatibilidad con la misión y visión; así como si existe una comunicación apropiada, unos reconocimientos y unas estructuras de la ayuda técnica para promover su uso.

### **3.2.4 Análisis multidisciplinar de las barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información**

Tracey Rizzuto realiza sendos estudios de la literatura referente a los factores humanos que contribuyen al fracaso de la implementación de tecnologías de la información [RIZZ03, RIZZ07]. Con dichos artículos la autora pretende dar a conocer tanto las insuficiencias de la literatura relacionada sobre el tema como proporcionar una visión general de la bibliografía sobre las decisiones humanas, las actitudes, y los comportamientos que afectan al fracaso de la implementación de tecnología. En su trabajo analiza los síntomas del fracaso de las implementaciones, los tipos de causas de las barreras que aparecen en las intervenciones tecnológicas, las contribuciones de la investigación por disciplina y los conocimientos colectivos de la literatura.

En [RIZZ03] realiza un primer análisis de 46 artículos y capítulos del libro de diversas disciplinas como Psicología, Organización de Empresas, Ingeniería Electrónica e Informática, publicados desde 1985 hasta 2003 (el 48% desde 2000). En los siguientes párrafos detallamos las principales conclusiones del primer estudio.

En relación a los síntomas de fracaso, concluye que el no uso del sistema es el síntoma de fracaso considerado más frecuentemente, pues aparece en el 78%

de los artículos revisados. Los demás indicadores se ordenan según a ocurrencia de aparición: la resistencia con un 54%, la inercia con un 50% y el mal uso con un 41% respectivamente. Las especificaciones erróneas son el tipo de fracaso menos divulgado, apareciendo solamente en el 30% de la literatura.

En lo referente a las causas de las barreras a la implementación, las referidas con más frecuencia son las cuestiones de gestión relacionadas con la planificación, implementación, y mantenimiento de los nuevos sistemas de tecnología, con una ocurrencia del 46% en la literatura. A la hora de conformar el clima y la cultura de organización que puedan impedir la implementación se consideran las actitudes, las creencias, y las expectativas ante la innovación tecnológica; por tanto, ello hace que la participación sea la segunda causa de las barreras más frecuentemente referida (30%). Las cuestiones de formación se refieren en el 11% de la literatura revisada, seguido por las barreras a la innovación relacionadas con el reconocimiento y la realimentación, que fueron referidas en el 7% del estudio.

También analiza las recomendaciones que se proponen para evitar que surjan las distintas resistencias. A pesar de que la causa de las barreras a la implementación mencionada con mayor frecuencia es la mala gestión de la planificación, implementación y mantenimiento del sistema, el estilo de gestión es solamente una preocupación secundaria para superar este tipo de barreras, referido solamente en el 17% del estudio. Por el contrario, el método principalmente sugerido para resolver las barreras relacionadas con la gestión es preparar correctamente a la organización para la intervención tecnológica, que ha sido propuesto en el 41% de las referencias. También se piensa que el alcance del proyecto influye (17%) al igual que el liderazgo del proyecto (9%). Se cree que las barreras humanas relacionadas con la participación, que aparecen en el 30% de la literatura, se benefician de un liderazgo fuerte del proyecto (28%) y de un estilo de dirección más eficaz (24%). También se piensa en el alcance del proyecto cuando se refiere a la participación, aunque aparezca comparativamente con menor frecuencia (4%). La formación inadecuada se identifica como una barrera a la implementación en el 11% de la literatura. En lo referente a la formación se piensa que se puede mejorar su baja calidad y su mala planificación con estilos de dirección más eficaces (4%) y con la preparación organizacional (4%). Rizzuto añade que se han realizado relativamente pocas investigaciones sobre cuestiones de implementación ligadas al reconocimiento y a la realimentación (el 7% cada uno).

En lo que concierne a las disciplinas que abordan las barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información, Rizzuto indica que para entender el papel de las personas en el fracaso de las implementaciones, se

requiere aportaciones de diferentes áreas que van desde la Informática hasta las que estudian el comportamiento humano.

De las cuatro disciplinas analizadas, la Organización de Empresas contribuye con la mayor cantidad de estudios publicados sobre este asunto (39%). La Ingeniería Electrónica contribuye con un 13% de la literatura y con solamente un 10% de la Informática. Además, en contra de lo que pudiera preverse, la disciplina que contribuye con menor cantidad de estudios sobre los factores humanos en la implementación es la Psicología, contribuyendo con solamente el 9%. El 13% restante se atribuye otras causas que se puedan clasificar entre disciplinas múltiples.

La Organización de Empresas, con una producción considerablemente mayor que el resto de disciplinas, centra la mayor cantidad de sus referencias en los asuntos relacionados con todas las barreras humanas. Es la única disciplina en abordar cuestiones de reconocimiento, y junto con la Informática, propone sugerencias para cuestiones relacionadas con la realimentación y la formación. Rizzuto destaca la peculiaridad de que la Organización de Empresas hable de cuestiones de la mala gestión (15%), al igual que la Informática (11%) y la Psicología (7%). Con respecto a cuestiones de participación, la Organización de Empresas ha producido el 11% de la literatura en este asunto, seguido por la Informática (7%) y la Ingeniería Electrónica (7%). Tracey Rizzuto concluye recalcando que todas ellas contribuyen más a la investigación sobre actitudes, creencias y comportamientos de las personas que la propia Psicología (1%).

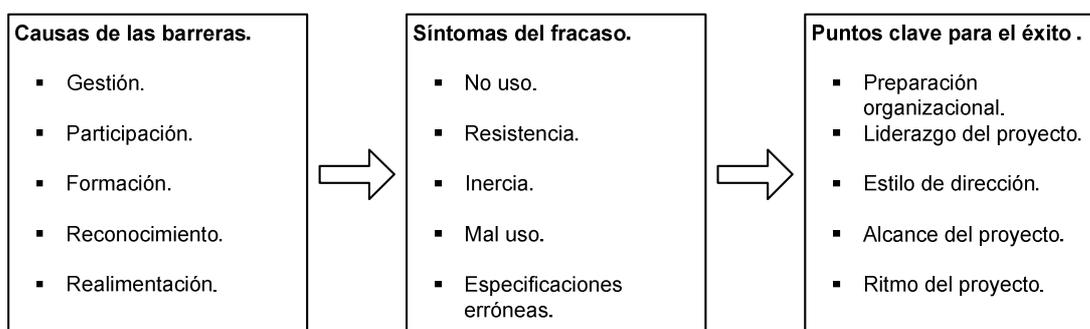


Figura 22. Marco Persona-Implementación de Tracey Rizzuto.  
Fuente: [RIZZ07] adaptado por el autor.

En [RIZZ07] Tracey Rizzuto desarrolla lo que ella denomina Marco Persona-Implementación (*Person-Implementation Framework*) que se muestra en la Figura 22 y que describe las causas, los síntomas y los puntos clave relacionados con las personas y asociados a los fracasos en la implementación de tecnologías de la información. Igualmente se ofrecen sugerencias de cómo los investigadores, académicos y profesionales pueden contribuir a esta importante y oportuna cuestión. Para ello, amplía el análisis anterior a una

muestra de 81 artículos de las mismas cuatro disciplinas académicas durante dos décadas (1984-2004). En esta segunda versión del estudio también se concluye que, a pesar de que la Psicología es esencial para la comprensión de las barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información, menos del 10% de las publicaciones sobre el tema aparecen en dicha área.

Del análisis de los resultados Tracey Rizzuto destaca lo siguiente. En cuanto a las causas de las barreras, los síntomas del fracaso y puntos clave para el éxito predominantes, la autora detecta en la revisión bibliográfica que la gestión y la participación se discuten con más frecuencia que la formación, el reconocimiento o la realimentación. Concretamente, la causa de las barreras más frecuentemente referida es la gestión (54% de las referencias), seguida por la participación (49%).

También existen diferencias en la aparición de los cinco síntomas de fracaso. El síntoma de fracaso referido con mayor frecuencia es la resistencia, (42%), que aparece en la literatura mucho más a menudo que el mal uso o la inercia. El no uso es el segundo síntoma de fracaso más reseñado (33%), seguidos por las especificaciones erróneas y la inercia (21% cada); el mal uso es el menos (19%).

Y en lo referente a los puntos clave para el éxito también se han encontrado diferencias significativas. Al igual que en [RIZZ03], aunque la gestión es la causa principal de las barreras, el estilo de dirección aparece sólo en el 47% de la bibliografía. Para superar las barreras se recomienda con mayor frecuencia la preparación organizacional (56%) y el liderazgo del proyecto (53%). Tanto el ritmo del proyecto como el alcance del proyecto son referidos con menos frecuencia, cada uno aparece en tan sólo el 18% de la literatura.

Otra aportación de este segundo estudio es un análisis de la evolución del discurso en las dos últimas décadas entorno a las causas e indicadores del fracaso de las implementaciones de tecnologías de la información. En lo referente al discurso sobre las causas de las barreras, si bien la gestión es la barrera a la implementación discutida más frecuentemente a lo largo del tiempo (60-77%), los análisis revelan las tendencias dinámicas del discurso. En los primeros años, la segunda causa de problemas más frecuente era la realimentación (13%), mientras que otras barreras como la participación o la formación ni siquiera aparecían en la literatura. Sin embargo, posteriormente, la participación y la formación han surgido como dos de las causas de problema más frecuentes (50-59%).

Si miramos los síntomas del fracaso, no se aprecian diferencias significativas a lo largo del tiempo, pero las tendencias generales muestran que el no uso y la resistencia reciben la mayor atención (más del 50%). A partir de 1998 la

resistencia es el síntoma más popular (49%), mientras que las especificaciones erróneas pasan de ser uno de los temas menos discutidos a ser uno de los más populares (43%).

En cuanto a los puntos clave para el éxito, la autora reseña que durante décadas, la preparación organizacional ha sido regularmente reconocida por su influencia positiva sobre la implementación (59-88%). El segundo punto clave para el éxito más referido varía según el período de tiempo. Hasta 1990 la segunda referencia era con un 63% el estilo de dirección, pero a partir de entonces surge el liderazgo del proyecto que evoluciona desde un 55% hasta un 73% de las últimas referencias.

Finalmente, Rizzuto, realiza un estudio comparativo de las causas de las barreras tanto con los síntomas de fracaso como con los puntos clave para el éxito. Dado que la gestión y la participación son las dos causas de las barreras citadas con mayor frecuencia a lo largo de todo el periodo, se ha determinado la probabilidad con que aparecen cada uno de estas causas en asociación con cada síntoma de fracaso y con cada punto clave para el éxito. En primer lugar, son analizadas las relaciones con los síntomas de fracaso. A continuación el proceso fue replicado para explorarlas con los puntos clave para el éxito.

Cuando se cita la gestión como una barrera a la implementación, son significativamente más probables que sean discutidas como síntomas de fracaso las especificaciones erróneas y el no uso. Los resultados también indican que la gestión como barrera es típicamente analizada de manera individual y no en combinación con otras causas de los problemas. Por último, el análisis de los puntos clave para el éxito revela que es significativamente más probable que la preparación organizacional y el ritmo del proyecto aparezcan junto al manejo de las causas de los problemas. Es decir, cuando se identifican problemas de gestión durante la implementación, a menudo se sugiere como ayuda a las transiciones de la tecnología una preparación mejor y una mayor atención a los plazos.

La segunda causa de las barreras en la implementación de tecnologías de la información es la participación. Los resultados indican que cuando se hace referencia a la participación, la resistencia es dos veces más probable que sea discutida como síntoma de fracaso. Estos resultados sugieren que la falta de un visto bueno y de una aceptación participativa de la implementación de tecnologías de la información puede manifestarse como una resistencia sintomática hacia la transición de la tecnología. A diferencia de la gestión, la participación es referida frecuentemente en combinación con otras dos causas de problemas, la formación y el reconocimiento. Estas causas tienen tres veces más probabilidades de aparecer en la bibliografía junto a la participación.

Estas relaciones indican que la participación disminuye cuando el reconocimiento es insuficiente y cuando la calidad de la formación es deficiente [MART02]. Un test final de los puntos clave para el éxito muestra que cuando se hace referencia a los problemas de participación, se proponen como estrategias para mejorar la implementación de tecnologías de la información al liderazgo del proyecto, al estilo de dirección y al ritmo del proyecto. Es decir, una participación problemática se puede mejorar con un liderazgo que apoye y vigile la sincronización y la coordinación de la implementación.

Esta investigación multidisciplinar de Tracey Rizzuto sienta las bases para los avances teóricos en implementación de tecnologías de la información y para el desarrollo de herramientas de diagnóstico y de directrices normalizadas para los profesionales. Deja claro que existen considerables investigaciones publicadas sobre fracasos en la implementación de tecnologías de la información relacionados con las personas. Si bien estas son disjuntas y dispersas, y se precisan formas de sintetizar, organizar y aplicar este conocimiento.

Una conclusión que se obtiene de estas dos revisiones es que la implementación de tecnologías de la información es un reto realmente multidisciplinario que implica al estudio de la tecnología, de las organizaciones, y de las personas. Lamentablemente, “los que son posiblemente los mejores cualificados para manejar cuestiones relativas a los factores humanos” (los psicólogos) representan papeles secundarios en las iniciativas de la gestión de tecnologías de la información [RIZZ07]. Dado el carácter nuclear de los factores psicológicos para la comprensión del proceso de implementación de la tecnología de la información, es sorprendente que la Psicología haya contribuido tan poco al cuerpo de investigación existente (sólo el 10% de la literatura analizada). Se podría esperar una mayor atención hacia estos temas, sobre todo en la Psicología Social y Organizacional, donde históricamente han sido abordados el clima, la gestión y la formación en el entorno de trabajo.



## 4 Modelos de innovación y de adopción de tecnologías de la información

*“I believe in being an innovator”.*

*-Walt Disney-*

*“ROMÁN: Inventen, pues, ellos y nosotros nos aprovecharemos de sus invenciones. Pues confío y espero en que estarás convencido, como yo lo estoy, de que la luz eléctrica alumbra aquí tan bien como allí donde se inventó.*

*SABINO: Acaso mejor.*

*ROMÁN: No me atrevía a decir yo tanto...*

*SABINO: Pero ellos, ejercitando su inventiva en inventar cosas tales, se ponen en disposición y facultad de seguir inventando, mientras nosotros...*

*ROMÁN: Mientras nosotros ahorramos nuestro esfuerzo.*

*SABINO: ¿Para qué?*

*ROMÁN: Para ir viviendo, y no es poco”.*

*-“El pórtico del templo”, Miguel de Unamuno-*

En este capítulo se presentan los modelos más importantes para el desarrollo de una visión conceptual e integradora y que sostienen la validez de la propuesta de modelo de esta tesis sobre la base de un conjunto amplio de investigaciones y modelos científicos en las áreas de la innovación y de la adopción de tecnologías de la información.

El análisis de los diferentes modelos de implantación de innovaciones existentes en la literatura actual es ineludible para la concepción esta tesis, ya que un sistema informático para la gestión de alto impacto organizacional se percibe como una innovación en dicha organización. La implementación de un sistema informático como el que es objeto de estudio exige cambios significativos del comportamiento dentro de la misma. Esto sitúa a los distintos usuarios en las condiciones para tomar una decisión de adopción. Comprender el comportamiento dinámico de la propagación de la adopción y los medios para influir en la adopción es una aportación que da valor al modelo.

Las investigaciones sobre innovación se enfocan desde dos puntos de vista, la difusión y la adopción. Unos enfoques utilizan la perspectiva de la difusión para intentar entender cómo se propaga una innovación entre los miembros de una comunidad, habitualmente se aplica a nuevos bienes de consumo en un mercado potencial; mientras que otros autores utilizan la perspectiva de la adopción para evaluar la receptividad y los cambios de una organización o sociedad ante una innovación. El proceso de adopción es complementario al proceso de difusión, con la salvedad de que se refiere a los procesos psicológicos que atraviesa un individuo, en lugar de un proceso global en un determinado entorno social. Tomando a Rogers [ROGE03] como referencia, por difusión se entiende el proceso por el cual una innovación es comunicada por ciertos canales a través del tiempo, entre los miembros de un sistema social; mientras que adopción es el proceso a través del cual un individuo (u otra unidad de decisión) pasa de un primer conocimiento de una innovación, a formarse una actitud hacia la misma, a una decisión de adoptar o rechazar, a la implementación de la nueva idea y a la confirmación de la misma. En resumen, la perspectiva de la difusión analiza el fenómeno desde el punto de vista del productor de la innovación y el enfoque de la adopción lo estudia desde el punto de vista del receptor de la innovación.

El caso de introducción de sistemas de gestión avanzados sobre la base de tecnologías de la información que ha motivado esta tesis, es un problema de adopción de una innovación. Es una cuestión que incumbe al individuo y es en este terreno donde también han incidido investigaciones relacionadas con el Aprendizaje Organizacional que no se deben obviar y que explican algunas

realidades observadas, como recogen algunos de los modelos que se van exponer en este capítulo.

Los modelos que vamos a analizar en este capítulo los vamos a agrupar desde un punto de vista conceptual en lugar de cronológico. Comenzaremos con los modelos que entienden la innovación como un proceso de difusión en un determinado colectivo y continuaremos con los modelos que estudian la innovación desde el punto de vista del adoptador, que conciben el fenómeno como un proceso de adopción. Entre los modelos de difusión de la innovación de mayor relevancia para describir y pronosticar la difusión están el Modelo de Difusión de Bass (*Bass Diffusion Model*) [BASS69, NORT87, STER00] y el Modelo de difusión basado en Dinámica de Sistemas de Milling y Maier (*System Dynamics-based Diffusion Model of Milling and Maier*) [MILL96, MAIE98, MILL02a, MILL02b]. Por otro lado en las revisiones bibliográficas se encuentran referencias a los siguientes tres modelos de adopción de una innovación: el modelo descriptivo de adopción de Rogers conocido como Teoría de la Difusión de la Innovación (*Diffusion of Innovation Theory*), aunque su nombre parece indicar lo contrario está considerado como un modelo de adopción [ROGE62, ROGE03], el Marco Conceptual de Adopción de Frambach y Schillewaert (*Frambach and Schillewaert Innovation Adoption Framework*) [FRAM02] y el Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones (*Dynamic Model of Innovation Implementation*) de Repenning.

Asimismo, y de cara a completar el abanico de modelos relacionados con el problema que nos ocupa, vamos a analizar modelos centrados más específicamente en el uso de sistemas de información. Existe un cuerpo académico de investigación creciente que estudia los factores determinantes de la aceptación de las tecnologías de la información y de su utilización entre los usuarios. Los modelos fundamentales son dos: el Modelo de Aceptación de la Tecnología (*TAM, Technology Acceptance Model*) [DAVI89a, DAVI89b, VENK00a, VENK00b, VENK03, AMOA04] y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean (*Delone and Mclean's Model of Information Systems Success*) [DELO03].

En la Figura 23 se resumen los diferentes modelos que se analizan en este capítulo. En ella se especifican en diferentes columnas el nombre del modelo, los autores que han contribuido esencialmente al desarrollo del modelo, las referencias bibliográficas principales, si responde a un enfoque de difusión o de adopción. Así mismo se indica el tipo de modelo que es, es decir, si es una propuesta concreta de modelo -matemático o sistémico- o sólo un marco conceptual. En la columna identificada con "D.S." se señala si es un modelo de Dinámica de Sistemas. La última columna contiene las características más significativas de cada modelo.

#### 4. Modelos de innovación y de adopción de tecnologías de la información

Modelo	Autores principales	Referencias	Enfoque	Tipo	D.S.	Características
Modelo de Difusión de Bass	Frank M. Bass	BASS69, BASS04, NORT87, STER00	Difusión	Modelo matemático	(a)	Dos procesos: adquisiciones de innovadores y adquisiciones de imitadores. Variables principales: p (coeficiente de innovación), q (coeficiente de imitación), M (mercado potencial).
Modelo de Difusión basado en Dinámica de Sistemas de Milling y Maier	Peter M. Milling, Frank M. Maier	MILL96, MAIE98, MILL02a, MILL02b	Difusión	Modelo sistémico	Sí	Modelo monopolístico, Modelo Competitivo, Modelo de sustitución. Variables principales: Precio, Calidad, Publicidad, Retraso en la entrega percibido, Probabilidad de comprar, Demanda, Volumen de producción, Producción acumulada, Capacidad de inversión.
Teoría de la Difusión de la Innovación	Everett Rogers	ROGE62, ROGE03	Adopción	Marco Teórico	No	Dos procesos de decisión: individual y organizacional. Proceso individual: Conocimiento, Convencimiento, Decisión, Implementación y Confirmación. Proceso organizacional: Priorizar la agenda, Contrastar, Redefinir/reestructurar, Explicar y Rutina. Cinco grupos de adoptadores: innovadores, adoptadores tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados. Curva de adopción. Dos sistemas sociales: heterófilos y homófilos.
Marco Conceptual de Adopción de Frambach y Schillewaert	Ruud T. Frambach, Niels Schillewaert	FRAM02	Adopción	Marco Teórico	No	Dos nivel de adopción: organizacional e individual. Variables a nivel organizacional: Características percibidas de la innovación, Características adoptadoras, Actividades de marketing de los proveedores, La red social e Influencias del entorno. Variables a nivel individual: Actitud hacia la innovación, Facilitadores organizacionales, Innovatividad personal e Influencias sociales.
Modelo Dinámico de Implementación de Innovación	Nelson Repenning	REPE02	Adopción	Modelo sistémico	Sí	Variable principal: Compromiso con la Innovación Tres bucles de realimentación: Refuerzo(+), Difusión(+) y Presión Normativa(-).
Modelo de Aceptación de la Tecnología	Fred Davis, Viswanath Venkatesh	DAVI89a, DAVI89b, VENK00a, VENK00b, VENK03, AMOA04	Adopción	Marco Teórico	No	Variables principales: Utilidad percibida, Facilidad de uso percibida, Intención de uso. Modelo de Aceptación de la Tecnología ampliado (TAM2). Teoría Unificada de la Aceptación y Uso de la Tecnología (UTAUT). Ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología a entornos ERP de Amoako-Gyampah y Salam.
Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean	William H. DeLone, Ephraim R. McLean	DELO92, DELO03	Adopción	Marco Teórico	(b)	Variables principales: Intención de uso/Uso, Satisfacción del usuario, Beneficios netos. Variables externas: Calidad de la información, Calidad del sistema, Calidad del servicio.

(a) Aunque explícitamente no es un modelo de Dinámica de Sistemas, es un modelo no lineal cuya versión de Dinámica de Sistemas se puede ver en STER00.

(b) La segunda versión DELO03 tiene vocación sistémica, si bien precisa algún ajuste para que sea sostenible.

Figura 23. Modelos de innovación analizados.

### 4.1 La Innovación como sistema complejo

La innovación se considera como una de las principales fuentes del cambio y una forma de asegurar un crecimiento sostenido a largo plazo de las organizaciones. Las actividades de innovación se entienden como el conjunto de etapas científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales, incluyendo las inversiones en nuevos conocimientos, que llevan o que intentan llevar a la implementación de productos y de procesos nuevos o mejorados. La I+D no es más que una de estas actividades y puede ser llevada a cabo en

diferentes fases del proceso de innovación, siendo utilizada no sólo como la fuente de ideas creadoras sino también como una metodología de resolución de los problemas que pueden surgir en cualquier fase hasta su culminación [OCDE03].

La tercera edición del Manual de Oslo [OCDE05], que es la principal referencia internacional sobre las actividades de innovación, pone fin a la visión lineal de la innovación que consideraba que el principal indicador para medir innovación era la inversión en I+D. En los últimos años se viene considerando a la innovación como un proceso complejo que implica múltiples interrelaciones entre ciencia y tecnología, productores potenciales y consumidores. Estos enfoques reconocen el carácter dinámico del proceso de creación de innovaciones, se reconoce que la innovación no se crea de manera unidireccional desde la investigación básica al desarrollo tecnológico, sino que el proceso conlleva una serie de interacciones entre diferentes actores. Desde esta perspectiva, la innovación puede ser consecuencia de actividades de I+D o de otras actividades, como, por ejemplo, la adopción de tecnología extranjera, ya contemplada en las ediciones anteriores de dicho Manual de Oslo, o la gestión del conocimiento y el capital intelectual, que podría inducir innovaciones organizativas. En definitiva, implícitamente el nuevo Manual está reconociendo la existencia de factores no tecnológicos, “intangibles”, que forman parte del capital intelectual de una organización.

Esta visión más holística del fenómeno justifica el hecho de que la gestión eficiente de la innovación es muy compleja y sus resultados son difíciles de predecir. Además durante los últimos años se ha observado que los nuevos productos y procesos, técnicamente más complejos y sofisticados, tienen que desarrollarse en un espacio corto de tiempo. Se tienen que asignar recursos a proyectos de investigación y desarrollo de los que se espera que tengan éxito económico. Los productos nuevos tienen que ser introducidos en los mercados globales con una dura competencia y se han de tomar decisiones sobre el momento oportuno de introducción en el mercado y sobre las estrategias adecuadas de precios, publicidad y calidad.

La complejidad y las dificultades para gestionar las actividades de innovación derivan en parte de la dimensión de los procesos de innovación. Joseph Schumpeter, economista y sociólogo austriaco (1883-1950), considerado el padre de la economía de la innovación, estableció que los procesos de innovación se pueden dividir en tres etapas: (1) invención, la fase en la que son desarrollados los nuevos productos, (2) innovación, es decir, la fase de introducción de nuevos productos en el mercado, y (3) imitación o difusión, la propagación de nuevos productos en el mercado. Las empresas, para ser competitivas, tienen que tener éxito en todas las etapas del proceso de

innovación. Esto se hace evidente cuando se analizan empíricamente las tasas de fracaso y los costes de innovación de los nuevos productos. La Figura 24 ilustra el proceso en cascada de la actividad de innovación y los costes de innovación relacionados. Sólo aproximadamente el 40% de todos los proyectos de investigación puede considerarse un éxito desde el punto de vista técnico. El 22% de todos los proyectos de I+D acaban en productos que se introducen al mercado y el 18% se abandonan debido a la falta de resultados económicos en el mercado. Mirando el 22% que se introduce en los mercados, sólo el 40% de ellos son un éxito económicamente. Esto significa que sólo el 8.8% de todos los proyectos de I+D se convierten en éxitos económicos [MANS81, citado en MAIE98 y en MILL02].

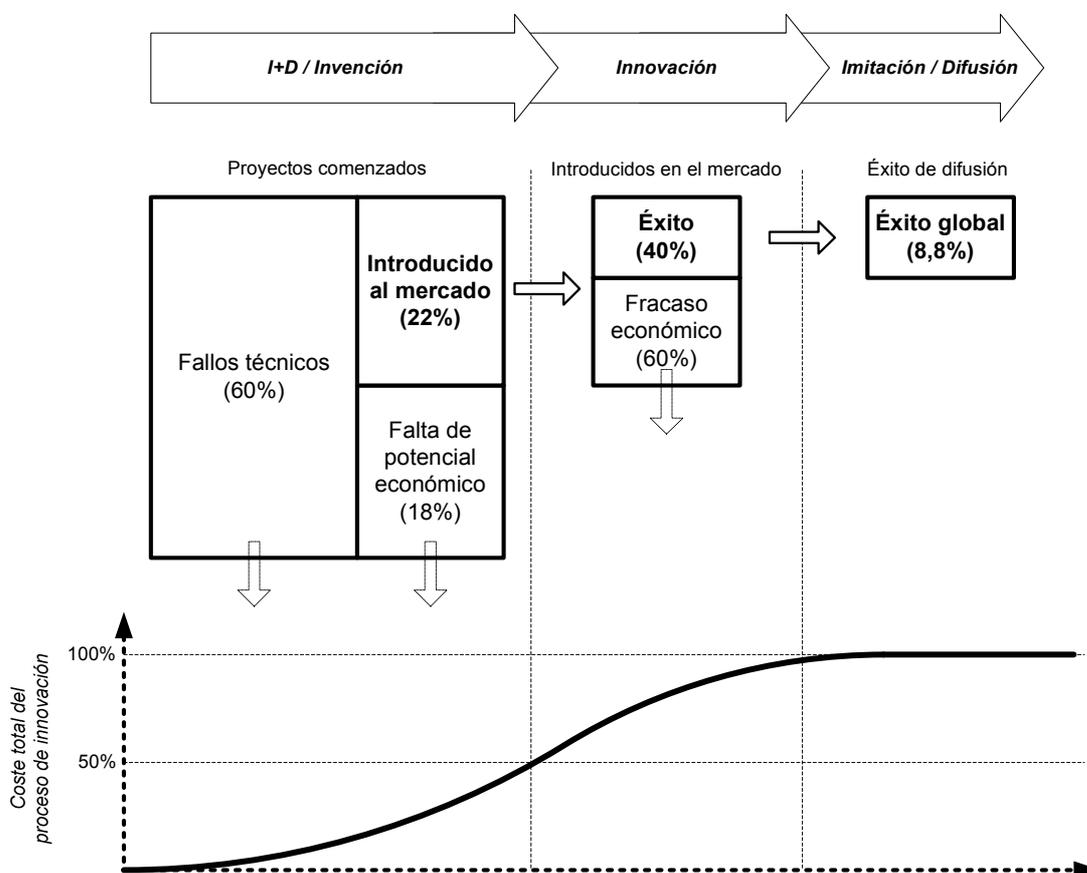


Figura 24. Resultados en cascada de la actividad de innovación.  
Fuente: [MAIER98, MILL02] adaptado por el autor.

Estos porcentajes cobran más importancia, si se consideran los costes de las actividades de innovación. Todas las etapas en el proceso de innovación requieren recursos que deben ser utilizados de manera eficiente si una empresa quiere mantener su competitividad a largo plazo. El coste total de la innovación durante la etapa de I+D asciende hasta alrededor del 50% del coste total de la innovación y son ocasionados por el 78% de proyectos de I+D que

acaban en un fallo técnico o se paran debido a la falta de capacidad económica. El aproximadamente otro 50% del coste total de actividades de innovación son causados por las inversiones en la introducción de nuevos productos, por ejemplo, en la creación de las nuevas instalaciones de producción, en campañas de publicidad, etc. En consecuencia, el 8.8% de todos los proyectos de I+D, que pueden considerarse un éxito de mercado, tienen que obtener todos los recursos necesarios. Esto muestra la importancia que tiene cada etapa del proceso de innovación y la necesidad de una gestión eficaz en estas etapas. Pero esto requiere comprender la complejidad y la dinámica de cada etapa del proceso de innovación.

## **4.2 Modelo de Difusión de Bass**

Uno de los modelos pioneros en el estudio de la difusión de innovaciones es el Modelo de Difusión de Bass. Si bien la naturaleza del problema que aborda esta tesis es la adopción de innovaciones, una revisión de los diferentes modelos formales de innovación no puede obviar el estudio de este modelo, no sólo porque no ha dejado de ser de actualidad sino porque es uno de los más citados en la literatura sobre marketing, estrategia o gestión de la tecnología y que más ha influido en estudios posteriores sobre la difusión de innovaciones. Prueba de ello es que el artículo donde propuso su modelo [BASS69] fue elegido como uno de los 10 artículos más influyentes de los publicados en los 50 años de historia de la revista *Management Science* y fue reimpresso en diciembre de 2004 con motivo del 50º aniversario de la revista. Al poco tiempo de su publicación inicial, se realizaron varias modificaciones en el modelo. De este modo, se consiguió mayor interés hacia el modelo original, de tal manera que el Modelo de Difusión de Bass ha generado el desarrollo de un núcleo de investigadores sobre la Teoría de la Difusión que está creciendo en número e influencia.

Pero además, otro de los motivos de su estudio es que se han desarrollado versiones sistémicas del mismo como la publicada por Sterman [STER00] y que analizaremos en este apartado como un buen ejemplo del uso de la Dinámica de Sistemas para la comprensión de modelos no concebidos sistémicamente.

Frank M. Bass propuso su modelo en 1969 [BASS69] con el propósito de describir la evolución temporal del comportamiento de la demanda ante un nuevo producto. El objetivo de Bass fue realizar una predicción a largo plazo sobre el desarrollo o crecimiento de un producto en el mercado, es decir, estimar la tasa de adopción de bienes de consumo. El modelo considera la influencia simultánea de dos factores. Un factor de influencia externa, que denomina de innovación, originado tanto por la tendencia intrínseca del

individuo a adoptar como por una fuente ajena, a través de los medios de comunicación de masas. Y un factor de influencia interna, o de imitación, derivado del contacto personal con adoptadores previos.

El modelo de Bass señala que la propagación de un producto nuevo en un mercado puede ser caracterizada por las siguientes expresiones:

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = \left( p + \frac{q}{M} N(t) \right) (M - N(t)) \quad [Eq. 4-1]$$

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p(M - N(t)) + \frac{q}{M} N(t)(M - N(t)) \quad [Eq. 4-2]$$

Donde,

- $n(t)$  es el número de adoptadores en el instante  $t$ . En el modelo original no se tuvo en cuenta las ventas repetidas, por lo que el número de ventas durante un periodo es igual al número de adoptadores.
- $N(t)$  representa el número de adopciones acumuladas anteriores al instante  $t$ , (sin incluir el instante  $t$ ).
- $M$  es el mercado potencial, el número total de personas que al final del proceso utilizan el producto.
- $p$  es el coeficiente de innovación (la influencia externa), la probabilidad de que alguien que todavía no utiliza el producto comience a utilizarlo debido a la influencia de los medios de comunicación o de otros factores externos.
- $q$  es el coeficiente de imitación (la influencia interna), la probabilidad de que alguien que todavía no utiliza el producto comience a utilizarlo debido a la influencia del boca en boca o de otros que ya utilizan el producto.

Los coeficientes de innovación y de imitación,  $p$  y  $q$ , son constantes a lo largo del tiempo.

La clave del modelo de Bass es que las adopciones se organizan en dos procesos: adopciones por innovación (o influencia externa) y adopciones por imitación. En el modelo se pueden aislar estos dos casos particulares: el modelo exponencial, llamado efecto innovación ( $q = 0$ ), y el modelo logístico que representa lo que Bass llamó el efecto imitación ( $p = 0$ ). El coeficiente de innovación  $p$  no interactúa con la función adoptadora acumulada  $N(t)$ , mientras que el coeficiente de imitación  $q$  multiplica a la función adoptadora acumulada  $N(t)$  para reflejar la influencia de los adoptadores previos sobre la

probabilidad de la adopción. Los adoptadores son influidos en el momento de su adopción por las presiones del sistema social, siendo la presión cada vez mayor para los siguientes adoptadores según aumenta el número de adoptadores previos,  $N(t)$ . Es decir, los adoptadores pueden ser influidos por la imitación en mayor o menor grado.

Uno de los inconvenientes de un modelo logístico es el problema del inicio del modelo porque el cero implica equilibrio. Un modelo logístico no puede explicar la aparición de los primeros adoptadores. Cuando comienzan los procesos de crecimiento, las influencias dependientes de otros adoptadores no existen, ya que no hay ninguno. La aportación principal de Frank Bass fue que desarrolló un modelo para la difusión de innovaciones que superaba el problema de la iniciación. Bass resolvió el problema del inicio, suponiendo que los primeros adoptadores tomaban conciencia de la innovación a través de fuentes externas de información, cuya magnitud es constante en el tiempo y lo plasmó en el modelo matemático.

Como hemos indicado al principio de este apartado, de cara a los objetivos de esta tesis, el modelo de Bass no puede constituir una base para el modelo que se propone porque es un modelo de difusión externa a la organización, no se enfoca al comportamiento interno. Otro inconveniente es que es un modelo ideado para bienes de consumo y no para intangibles. No obstante merece ser estudiado el desarrollo sistémico que del mismo realiza John Sterman [STER00].

#### **4.2.1 Visión sistémica del modelo de Bass**

Si bien fue Peter M. Milling quien advirtió la naturaleza sistémica del modelo de Bass (ver apartado 4.3), en este apartado vamos a exponer la versión que publica John Sterman en su libro “*Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*” [STER00]. Presenta de manera didáctica un modelo de Dinámica de Sistemas del Modelo de Difusión de Bass partiendo del modelo de epidemia de una enfermedad infecciosa. Es decir, hace una analogía entre la difusión de un producto y el contagio de una enfermedad. En este apartado vamos a describir este modelo. Igualmente, nos sirve de primer ejemplo para entender cómo es un modelo de Dinámica de Sistemas.

##### **4.2.1.1 Modelo logístico de difusión de un producto nuevo como una epidemia**

En efecto, Sterman expone que la propagación de rumores y de ideas nuevas, la adopción de nuevas tecnologías y el crecimiento de todos los productos nuevos, pueden ser vistos como la difusión de una epidemia, de forma que los que han adoptado una innovación “infectan” a los que no lo han hecho. Un

rumor se difunde de forma que los que lo han oído se lo cuentan a los que no; quienes, a su vez, se lo cuentan a otros. Las ideas nuevas se propagan de forma que los que creen en ellas entran en contacto con los que no creen y los convencen para que acepten la nueva idea. Los nuevos adeptos, al mismo tiempo, persuaden a terceros. En todos estos casos, los que ya han adoptado el producto, la idea o la tecnología, entran en contacto con los que no, exponiéndoles a ella e infectando a algunos de ellos con la idea o el deseo de comprar el producto nuevo. De esta manera va aumentando la población de adoptadores. Cualquier situación en la que las personas imitan el comportamiento, las creencias, o las compras de los demás, describe una situación de realimentación positiva por contagio social que es análoga al bucle de contagio del modelo básico de una epidemia.

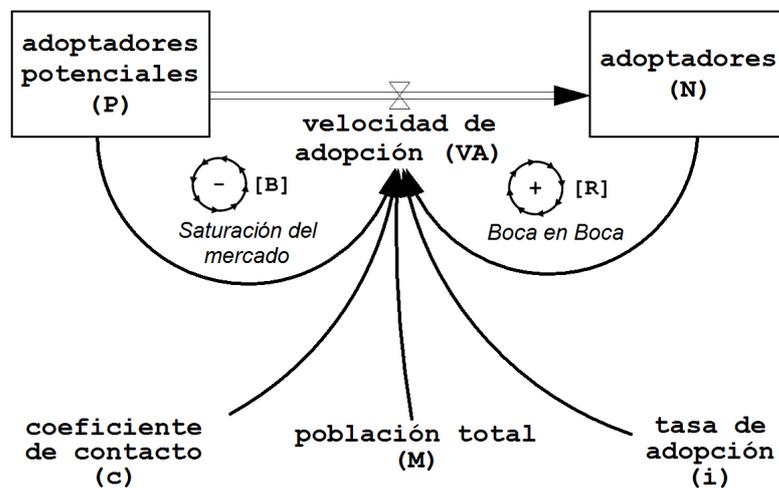


Figura 25. Diagrama de Forrester de la adopción de una idea o producto nuevo como una epidemia.  
Fuente: [STER00] adaptado por el autor.

La Figura 25 es una adaptación del modelo de epidemia de una enfermedad infecciosa al caso de la difusión de una innovación. En este caso, la población contagiosa se convierte en la población de **adoptadores**,  $N$  ( $N(t)$ ). La población susceptible se convierte en el conjunto de **adoptadores potenciales**,  $P$  ( $M - N(t)$ ). Los **adoptadores** y los **adoptadores potenciales** se encuentran entre sí con una frecuencia determinada por el **coeficiente de contacto**,  $c$ . Al igual que en las enfermedades infecciosas, no todos los contactos producen contagio. La proporción de encuentros que son suficientemente tentadores como para persuadir a los posibles adoptadores a adoptar una innovación lo denomina **tasa de adopción** y se expresa como  $i$  (por su analogía con la tasa de infección).

Las ecuaciones para el modelo simple de difusión de la innovación son idénticas a las del modelo de la epidemia de la enfermedad infecciosa (ver

STER00). Sobre la base de la Figura 25, las ecuaciones sistémicas del modelo matemático son:

$$N = \text{INTEGRAL}(VA, N0) \quad [Eq. 4-3]$$

$$P = \text{INTEGRAL}(-VA, M-N0) \quad [Eq. 4-4]$$

$$VA = c \cdot i \cdot P \cdot (N/M) \quad [Eq. 4-5]$$

Donde **VA** es la **velocidad de adopción**, es decir, el número de adoptadores nuevos por unidad de tiempo, y **N0** el número inicial de **adoptadores**.

Igual que en el modelo de la epidemia de una enfermedad infecciosa, la **población total**, **M**, es constante:

$$M = P + N \quad [Eq. 4-6]$$

Si lo comparamos con el modelo original, Sterman separa  $q$ , coeficiente de imitación ( $I/t$ ), en el producto  $c \cdot i$ , es decir, el producto del **coeficiente de contacto** ( $I/t$ ),  $c$ , y la **tasa de adopción** (*adimensional*),  $i$ . Podría haber mantenido el coeficiente del modelo original coeficiente de imitación,  $q$ , definiéndolo como la eficacia de la imitación o del boca en boca. Sin embargo, ha preferido mantener la estructura del modelo de infección de una enfermedad contagiosa.

La interpretación es la misma que en el modelo de la epidemia de una enfermedad infecciosa. Las personas de la comunidad en cuestión entran en contacto, a razón de  $c$  personas por individuo y día (**coeficiente de contacto**). La tasa total según la cual se producen los contactos causados por el conjunto de **adoptadores potenciales** es, por tanto,  $c \cdot P$ . La proporción de los **adoptadores** dentro de la **población total**,  $N/M$ , es la probabilidad de que cualquiera de estos contactos se produzca con un adoptador que pueda proporcionar información sobre la innovación. Por último, la **tasa de adopción**,  $i$ , es la probabilidad de adoptar dado un contacto con un adoptador. Estas ecuaciones constituyen un ejemplo del modelo de crecimiento logístico y el comportamiento del modelo es la clásica forma de crecimiento en S de la curva logística.

#### 4.2.1.2 Modelo Sistémico de Difusión de Bass

Como hemos indicado anteriormente, uno de los defectos de un modelo logístico puro de difusión, bien sea de una epidemia o de una innovación, es el problema del arranque del modelo. En la Figura 26 se puede observar que se parte de una cantidad inicial de **adoptadores** (en este caso  $N0 = 30$ ) porque

de lo contrario la gráfica hubiera permanecido a cero. Esto es coherente porque sin población contagiosa no habrá contagio y si no hubiera ningún agente externo que provocara la primera infección no habría ningún contagio o adopción. Es decir, para modelar el ciclo de vida de un producto con el modelo logístico puro de difusión es necesario iniciar la simulación después de que el producto ya esté implantado, de manera que ya exista algún adoptador. Como ya hemos explicado, Bass resolvió el problema de la inicialización incluyendo en el modelo factores externos al mismo que despertaban ese interés inicial por la innovación.

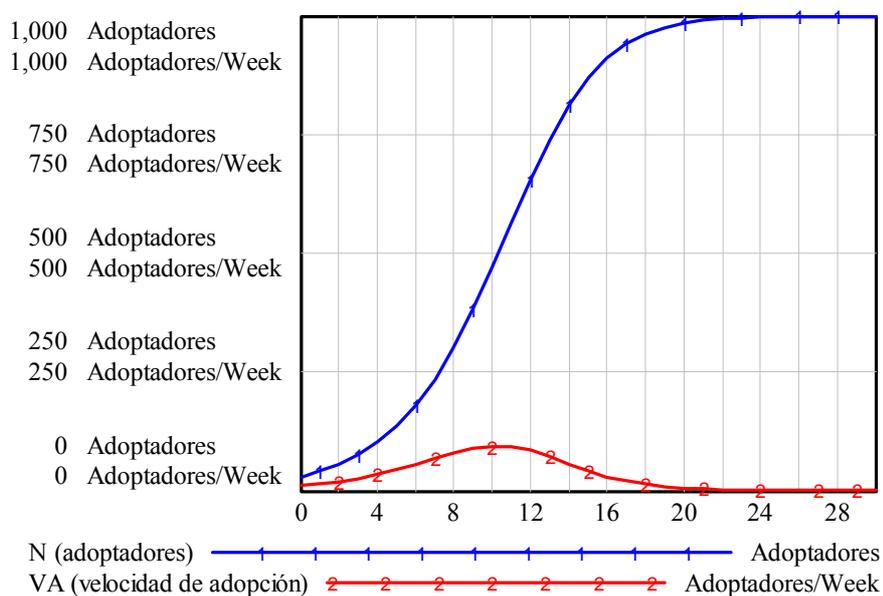


Figura 26. Ejemplo de comportamiento del modelo logístico de difusión de un producto nuevo como una epidemia. Con  $M=1000$ ,  $c=0.375$ ,  $i=1$  y  $N_0=30$ .

En la Figura 27 la **velocidad de adopción** total es la suma que resulta de las adopciones del boca en boca (de las opiniones positivas emitidas por los adoptadores) y de las adopciones como consecuencia de la publicidad o de cualquier otra influencia externa. Las adopciones boca en boca se formulan exactamente como en el modelo logístico de la difusión de la innovación (ver Eq. 4-5). Bass tuvo en cuenta la probabilidad de que un posible adoptador tome la decisión de adoptar como consecuencia de la exposición a una determinada cantidad de publicidad; donde el volumen de la publicidad y otras influencias externas se consideran constantes para cada periodo. De ahí que la **velocidad de adopción, VA**, sea:

$$VA = \text{adopción publicidad} + \text{adopción boca en boca} \quad [Eq. 4-7]$$

$$\text{adopción publicidad} = p \cdot P \quad [Eq. 4-8]$$

$$\text{adopción boca en boca} = q \cdot P \cdot (N/M) \quad [Eq. 4-9]$$

Donde el parámetro  $p$ , es el **coeficiente de innovación** ( $I/t$ ) de Bass; Stermán lo denomina Eficacia de la Publicidad o tasa de adopción por publicidad. A diferencia del modelo anterior, en este caso mantenemos el coeficiente original  $q$ , **coeficiente de imitación** ( $I/t$ ), que abstrae el producto  $c \cdot i$  (producto del **coeficiente de contacto**,  $c$ , y la **tasa de adopción**,  $i$ ), que mide la eficacia del proceso de imitación o del boca en boca.

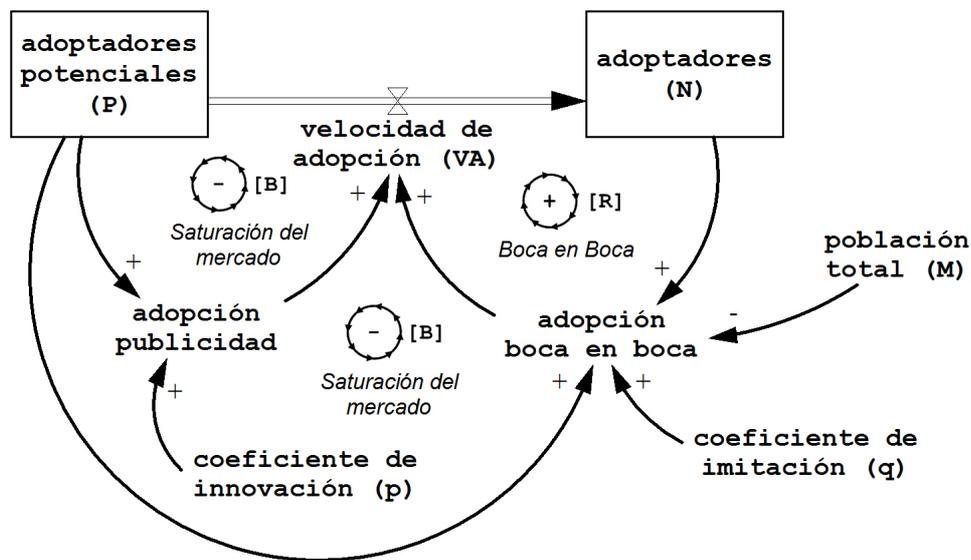


Figura 27. Diagrama de Forrester del Modelo de Difusión de Bass.  
Fuente: [STER00] adaptado por el autor.

Se supone que las dos fuentes de la adopción son independientes. En resumen, el modelo puede expresarse como

$$VA = p \cdot P + q \cdot P \cdot (N/M) \quad [Eq. 4-10]$$

Que si lo comparamos con la formulación original de Bass tenemos que  $VA$  (**velocidad de adopción**) es la variación en el tiempo del proceso de adopción, es decir, la derivada de  $N$  ( $N(t)$ ) respecto al tiempo. Y que  $P$  es la población adoptadora potencial, es decir,  $M - N$ .

Si analizamos la Figura 28, vemos que ahora la población adoptadora inicial es nula. Por el contrario la derivada ( $VA$ ) en el origen es distinta de cero (en el ejemplo, 31,25). Cuando se introduce una innovación y la población adoptadora es nula, las únicas fuentes de adopción serán las influencias externas como puede ser la publicidad. Es decir, sólo cuando se activan los factores externos de sensibilización es cuando el modelo arranca. Si no

existiera, dicho de otro modo, si  $p$  fuera cero, el modelo permanecería en equilibrio sin que el efecto interno llegue a manifestarse. El efecto de la publicidad es más significativo al inicio del proceso de difusión y va disminuyendo según se va agotando el número de adoptadores potenciales.

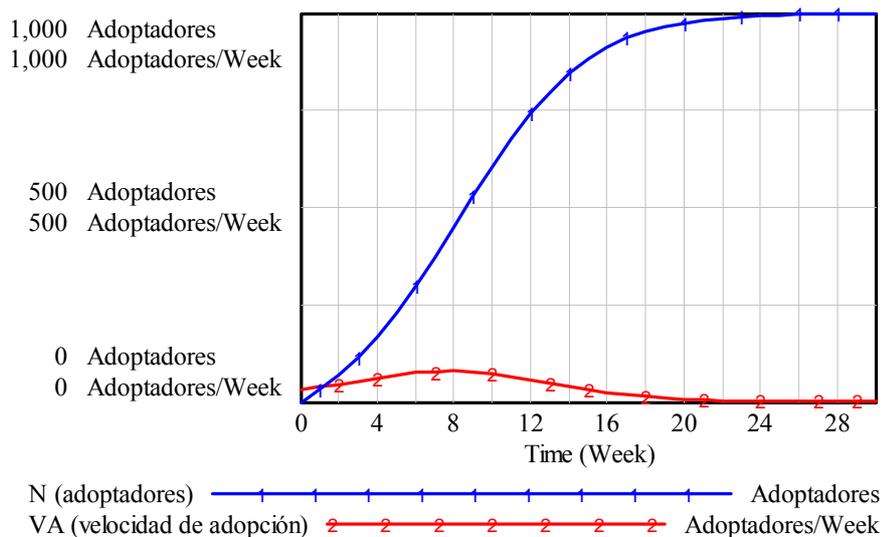


Figura 28. Ejemplo de comportamiento del Modelo Sistémico de Difusión de Bass. Con  $M=1000$ ,  $p=0.03125$ ,  $q=0.25$  y  $N_0=0$ .

En resumen, el modelo de Bass soluciona el problema del inicio del modelo logístico puro de la difusión de la innovación, porque la variable auxiliar **adopción publicidad** no depende de la población adoptadora,  $n$ . Cuando se introduce una innovación o un producto nuevo, la **velocidad de adopción**,  $va$ , depende exclusivamente de las personas que conocen la innovación de fuentes de información externas, como la publicidad. Y el sistema evoluciona de forma que cuando el conjunto de adoptadores potenciales disminuye, la población adoptadora va creciendo. Al mismo tiempo, a la vez que la influencia de la publicidad sobre la adopción total decae, la variable **adopción boca en boca** aumenta. Es decir, al poco tiempo, domina el boca en boca y el proceso de difusión finaliza del mismo modo que en el modelo de difusión logístico puro adaptado del modelo de epidemia de una enfermedad infecciosa. El cambio en la estructura de realimentación del proceso de difusión añadiendo el efecto de la publicidad con el **coeficiente de innovación**  $p$ , soluciona el problema de arranque del modelo logístico y mejora la capacidad del modelo de adaptación a la realidad.

### **4.3 Modelo de Difusión basado en Dinámica de Sistemas de Milling y Maier**

Peter M. Milling recibió en 2001 el *Jay W. Forrester Award*, que otorga la *System Dynamics Society*, por el artículo publicado en la revista *System Dynamics Review* [MILL96] y por los trabajos relacionados, en especial en colaboración con su compañero en la alemana Universidad de Mannheim, Frank M. Maier. Si bien su modelo también es un modelo de difusión, la referencia a este modelo es obligada por dos razones principales. Por un lado, el modelo es una evolución sistémica del modelo de Bass como analizaremos en este apartado. Por otro lado, porque fue Milling quien aplicó por primera vez la metodología de Dinámica de Sistemas para modelar el proceso de difusión de la innovación para un mercado monopolístico [MILL86, citado en MILL96], teniendo en cuenta diferentes variables de decisión como elementos internos del modelo. Si bien en algunos textos se identifica como el Modelo de Difusión de Milling, en otras referencias se conoce como Modelo de Difusión de Milling y Maier [WIRS06], debido a las aportaciones realizadas por el segundo autor al modelo, denominación que nosotros mantenemos.

El comportamiento subyacente del modelo de Bass no ofrecía los elementos adecuados para controlar de forma efectiva los procesos de innovación, especialmente para comprobar los efectos de las herramientas de gestión y los elementos de control. Por este motivo, el modelo necesitaba ser ampliado. A través de varias etapas de desarrollo del modelo, Milling y Maier fueron agregando esos aspectos relevantes para permitir investigaciones significativas del comportamiento del sistema. A diferencia de Bass, explican las adopciones por imitación como un modelo sistémico claro para representar asuntos relacionados con la fijación de los precios en un entorno dinámico con ciclos de vida acelerados y con una rápida caída de precios, a menudo inmediatamente después de que un nuevo producto se haya introducido en el mercado. Asimismo, los clientes esperan que la calidad de los productos esté a un alto nivel desde el principio de la producción; y la investigación y desarrollo deben generar nuevos productos y nuevos procesos para cumplir con los requisitos del mercado.

Su modelo, o mejor dicho, las diferentes evoluciones del Modelo de Difusión de Milling y Maier amplían el modelo de difusión monopolístico de Bass a un entorno competitivo, y añade elementos estructurales para que el modelo soporte los procesos de sustitución de generaciones de productos. Los modelos ya han sido utilizados para analizar estrategias de fabricación y de establecimiento de precios [MILL93, MAIE98, MILL02a], así como para estrategias de investigación y desarrollo para mejorar las sucesivas generaciones de productos en un mercado competitivo [MAIE92, MILL02b].

Maier [MAIE95, citado en MAIE98] había identificado los elementos principales que influyen en la difusión de una innovación se pueden clasificar en cuatro grupos que se resumen en la Figura 29:

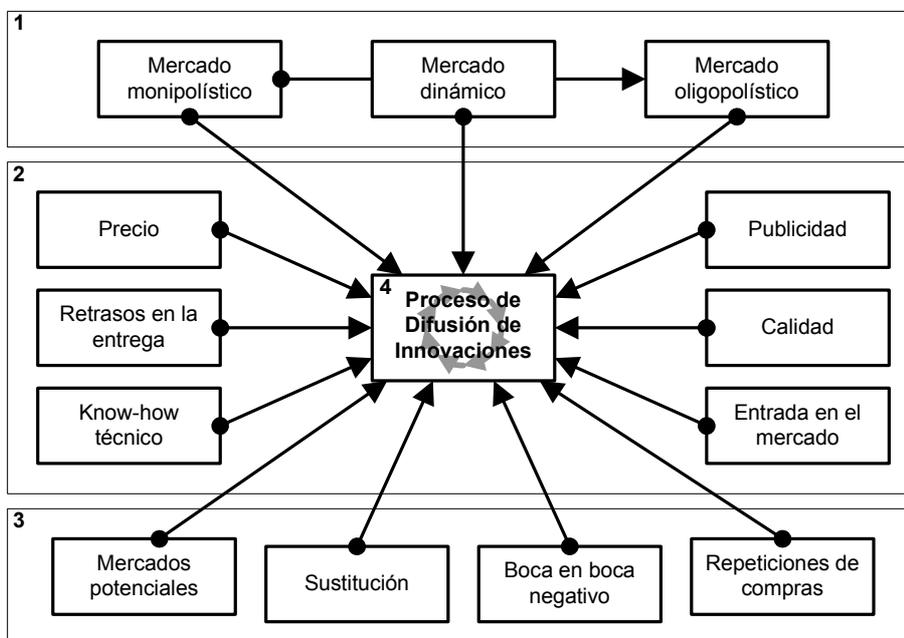


Figura 29. Elementos que influyen en el proceso de difusión de la innovación.  
Fuente: [MAIE98] adaptado por el autor.

El modelo de partida de esta serie de modelos se origina en el proceso de difusión de la innovación para un mercado monopolístico de Milling [MILL86, citado en MILL96], cuya estructura nuclear del modelo es análoga al modelo propuesto por Bass. En la Figura 30 se muestra el Diagrama Causal del Modelo de Milling y Maier restringido a un marco monopolístico, al igual que la propuesta de Bass, sólo se muestran parcialmente las relaciones de realimentación, dando idea de la complejidad de un modelo integral de difusión de la innovación que considera los elementos de influencia más relevantes dentro de los límites del sistema.

El cálculo de las demandas, innovadora e imitadora, es el eje del modelo, que es la esencia del modelo de Bass, y que Milling lo define como:

$$\text{Demanda innovadora} = p \cdot \text{Mercado potencial} \quad [\text{Eq. 4-11}]$$

$$\text{Demanda imitadora} = q \cdot \text{Mercado potencial} \cdot (\text{Adoptadores} / \text{Mercado potencial inicial}) \quad [\text{Eq. 4-12}]$$

Donde  $p$  y  $q$  siguen teniendo el mismo significado, es decir, son los coeficientes de innovación e imitación respectivamente. La variable *Adoptadores* es la población de adoptadores  $N(t)$  de Bass ( $N$  en la versión de

Sterman). La variable *Mercado potencial* que es el conjunto de adoptadores potenciales  $M - N(t)$  en Bass ( $P$  para Sterman); y *Mercado potencial inicial* es lo que Bass llama mercado potencial total,  $M$  o población total en Sterman.

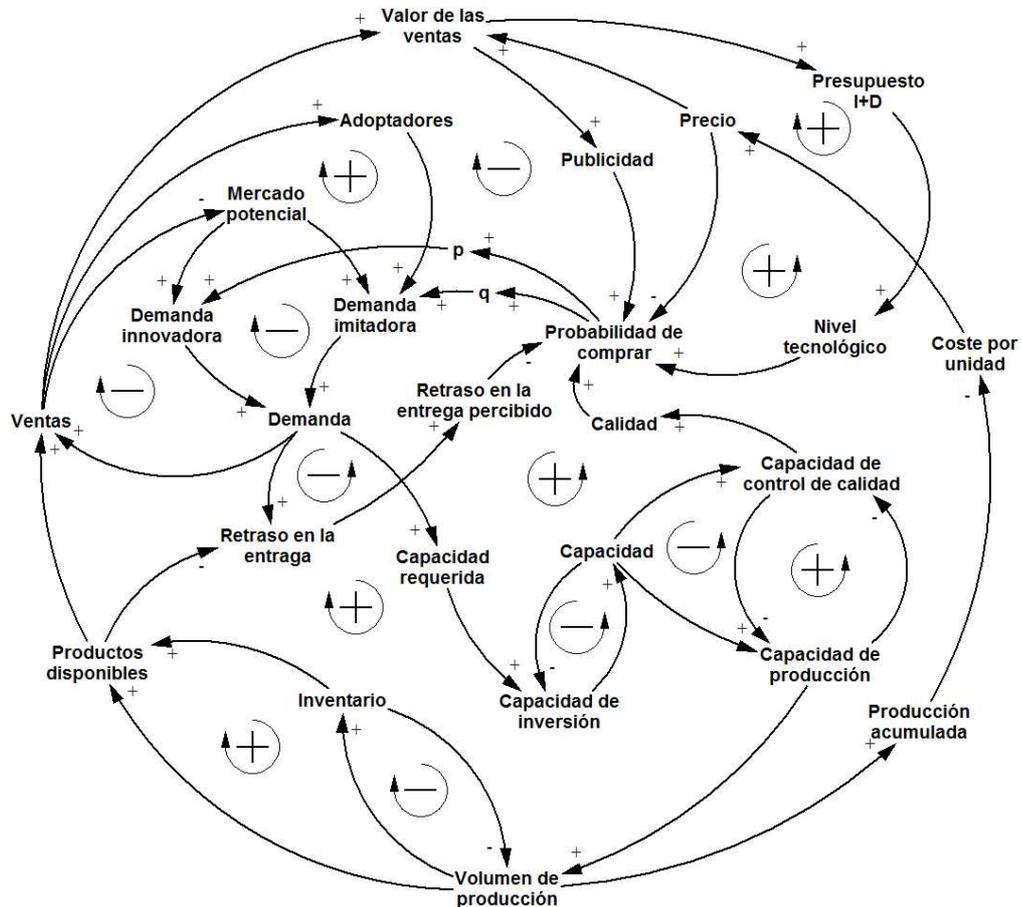


Figura 30. Diagrama Causal del Modelo de Milling y Maier.  
Fuente: [MAIER98, MILL02a] adaptado por el autor.

Los elementos de influencia que proponía Maier se representan con variables como fijación del *Precio*, *Calidad*, *Publicidad*, o *Retraso en la entrega percibido* que tienen un impacto directo sobre la *Probabilidad de comprar*. La *Probabilidad de comprar* produce un efecto multiplicador que afecta tanto al coeficiente de innovación  $p$  como al coeficiente de imitación  $q$ . Sin embargo, también puede tener efectos indirectos y de retardo, acelerando o frenando el proceso de difusión de la innovación.

Por un lado, las *Ventas* de un producto dependen de la *Demanda* real y del número de *Productos disponibles* para su distribución, que a su vez depende del *Volumen de producción* y del número de productos en *Inventario*. Una cantidad insuficiente de productos da lugar a un *Retraso en la entrega*, lo que reduce la *Probabilidad de comprar* y, en consecuencia, disminuye las

demandas, innovadora e imitadora. Por otro lado, aumentar la *Demanda* motiva a la empresa a ampliar su *Capacidad* y conlleva un aumento del *Volumen de producción* así como una *Producción acumulada* mayor. Los efectos de la curva de experiencia (cuanto más produce una empresa, más aprende a producir de forma eficiente, dando lugar a la oportunidad para reducir los costes) hacen disminuir el *Coste por unidad* y que los precios sean más bajos, aumentando la *Probabilidad de comprar* [MILL96].

La *Capacidad* disponible total sólo puede ser dedicada parcialmente a la producción, porque la empresa también tiene que velar por la calidad de sus productos y tiene que dedicar cierto porcentaje de su capacidad al control de la calidad del proceso de producción. Cuanto mejor sea el control de calidad, mayor será la calidad de los productos, lo cual afecta directamente a la *Probabilidad de comprar* un producto y, en definitiva, aumenta la *Demanda*.

Un modelo desarrollado de esta manera puede servir como un simulador para analizar las consecuencias de diferentes estrategias. Sin embargo, no es idóneo como sistema de optimización, aunque si bien ayuda a una mejor comprensión de los elementos influyentes y del comportamiento [MAIE98].

Esta primera evolución del modelo basado en Dinámica de Sistemas ofrece una explicación causal del comportamiento de la difusión de innovaciones y la interpretación tiene mayor influencia que en el modelo de Bass. Aunque el modelo que hemos presentado es muy útil para mejorar la comprensión de la dinámica de la innovación, su uso se limita a las empresas que operan en situación de monopolio o como modelo global para toda una determinada industria. No refleja la problemática que causan los competidores actuales y potenciales.

Existen dos evoluciones del modelo:

- El “Modelo Competitivo de Difusión de Milling y Maier” que amplía la estructura básica con objeto de incluir la competencia. El cálculo de las demandas, innovadora e imitadora, sigue siendo el eje del modelo, pero deben calcularse para cada empresa competidora.
- El “Modelo de Sustitución de Milling y Maier” donde avanzan en el modelo añadiendo módulos para que caractericen los procesos de sustitución de generaciones de productos.

Con las diferentes evoluciones de su modelo demuestran que los modelos tradicionales de difusión de la innovación no son suficientes para explicar los procesos de sustitución, porque descuidan elementos necesarios para un modelo estructuralmente válido. Y muestra que el tratamiento de las diferentes

etapas de manera separada y en distintas fases no es adecuado debido a la dinámica y la complejidad del sistema; lo que pone confirmada la utilidad del enfoque de la Dinámica de Sistemas.

Para una profundización de estos modelos se puede consultar las diferentes referencias aportadas [MILL86, MAIE92, MILL93, MILL96, MAIE98, MILL02a, MILL02b] ya que entendemos que no es objeto de la tesis hacer un estudio intensivo de los modelos, sino de sus aportaciones y de su relevancia tanto como marco teórico como metodológico con el uso de la Dinámica de Sistemas.

#### **4.4 Teoría de la Difusión de la Innovación de Rogers**

La Teoría de la Difusión de la Innovación de Everett Rogers es el principal marco teórico sobre el proceso de adopción de una innovación desde el punto de vista del usuario. El modelo de Rogers se considera un modelo de adopción más que un modelo propiamente de difusión porque describe la conducta de adopción y el alcance es la decisión de adopción de los adoptadores potenciales.

La primera edición de su obra principal es el libro “*Difusión of Innovations*” [ROGE62, ROGE03] se publicó en 1962, ésta y posteriores ediciones han sido ampliamente utilizadas en todo tipo de investigaciones. El hilo conductor de su teoría es que el cambio puede suscitarse con relativa facilidad en un sistema social por medio de un efecto dominó. Comprender este proceso y ser capaces de identificar el punto de inflexión, mejora la capacidad de tomar medidas eficaces para acelerar la difusión.

##### **4.4.1 Proceso de decisión de la Innovación**

Cuando Rogers se refiere al proceso de decisión, distingue entre la decisión de adopción de los individuos y de las organizaciones. En el modelo de Rogers, las decisiones de adopción, tanto individuales como organizacionales, se dividen respectivamente en cinco fases como se muestran en la Figura 31.

En un sistema social, dado que las decisiones no son oficiales o colectivas, cada miembro del sistema social se enfrenta a su propia decisión de innovar. Everett Rogers sugiere que el modelo de adopción individual recorre cinco fases: (1) Conocimiento. El individuo adquiere conocimiento acerca de una innovación y es receptivo a ella. (2) Convencimiento. En esta fase, el potencial adoptador se informa y evalúa las características de la innovación y toma una actitud favorable o desfavorable hacia ella. (3) Decisión. Sobre la base de la evaluación previa y, si fuera posible una prueba de la innovación, se produce por parte del adoptador potencial la decisión de adoptar o rechazar. Sin

embargo, esta decisión no tiene por qué ser la definitiva. (4) Implementación. En esta fase se pone en práctica la innovación. A diferencia de las tres anteriores, al ser una ejecución de la decisión de adoptar, implica una modificación de la manera de actuar del adoptador. (5) Confirmación. Con ayuda de la revisión y evaluación de los resultados de la decisión tomada, el adoptador trata de confirmar la decisión, con un uso continuo o discontinuo de la innovación.

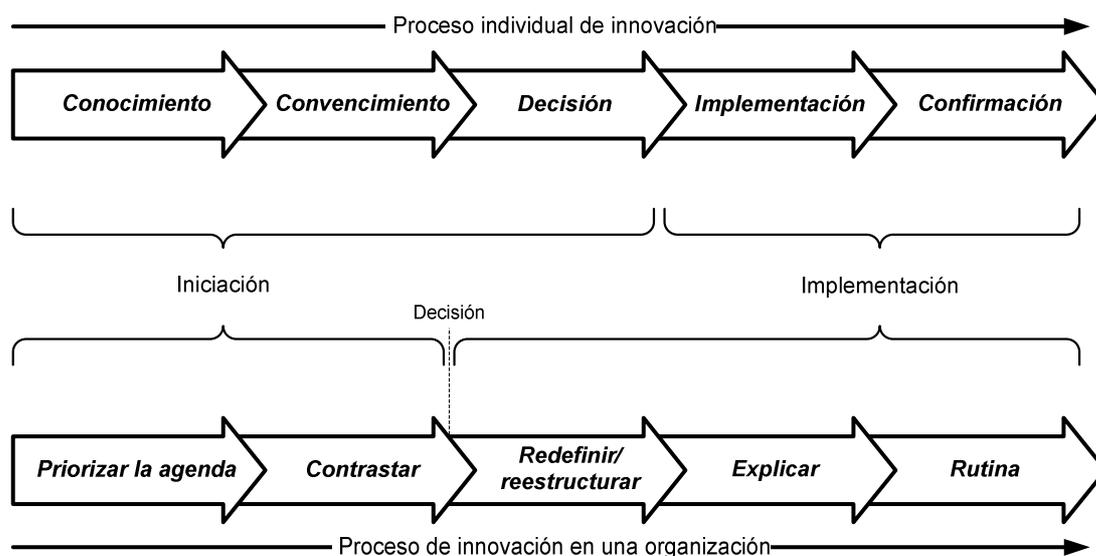


Figura 31. Proceso de decisión del Modelo de Rogers.  
Fuente: [ROGE03] adaptado por el autor.

Por otro lado, desde el punto de vista de la organización, el proceso de innovación recorre también cinco fases, agrupadas a su vez en otras dos fases, **Iniciación** (**Priorizar la agenda** y **Contrastar**) e **Implementación** (**Redefinir/reestructurar**, **Explicar** y **Rutina**): (1) **Priorizar la agenda**. Esta fase ocurre cuando se percibe la necesidad de una solución innovadora para resolver un problema de la organización. Consiste en identificar y priorizar las necesidades y problemas y en buscar innovaciones de utilidad potencial para hacer frente a los problemas. Esta fase puede durar varios años. (2) **Contrastar**. La innovación se enfrenta al problema a resolver. En esta fase experimental, cuanto mejor pueda una organización contrastar la innovación con el problema y analizar cómo encaja en la organización, mayor será la probabilidad de adoptar la innovación. Esta fase marca la frontera entre la iniciación y la implementación. (3) **Redefinir/reestructurar**. En esta fase la organización y la innovación se ajustan mutuamente y va perdiendo su carácter ajeno. La innovación se reinventa para adaptarse a la organización, y la organización adecúa sus estructuras para que la innovación encaje. Esta fase proporcionalmente supone un período breve [TYRE94]. (4) **Explicar**. Los miembros de la organización son informados del beneficio y uso de la

innovación. Se aclara la razón de ser de la nueva idea entre los miembros de la organización. (5) Rutina. Esta fase ocurre cuando los miembros de la organización adoptan la innovación y la incluyen en su labor diaria. La innovación pierde su *status* singular según se convierte en rutina.

#### 4.4.2 Categorías de adoptadores

La aportación más conocida de la Teoría de la Difusión de la Innovación es el establecimiento de diferentes categorías de adoptadores. Según Rogers los individuos no adoptan una innovación todos al mismo tiempo e identifica básicamente cinco grupos de adoptadores: innovadores, adoptadores tempranos, mayoría temprana, mayoría tardía y rezagados<sup>36</sup> [ROGE03]. Cada categoría obedece a una serie de características personales, socioeconómicas y educacionales que les configuran como grupo diferenciado.

Los innovadores son personas arriesgadas que les gusta estar en la vanguardia, importan la idea de fuera y la incorporan al sistema; imaginan sus posibilidades y están ansiosos de darle una oportunidad.

Los adoptadores tempranos están más integrados en el sistema social que los innovadores. Utilizan los datos sobre la implementación y la confirmación de la innovación proporcionados por los innovadores para tomar sus propias decisiones de adopción. Si detectan que la innovación ha sido eficaz para los innovadores, se animarán a adoptarla. Este es un grupo respetado debido a que sus tomas de decisiones están bien fundamentadas y es en este grupo donde reside la mayoría de los líderes de opinión del sistema social.

La mayoría social no tiene la capacidad de mantenerse al corriente de las novedades más recientes acerca de las innovaciones por lo que prefieren confiar en las decisiones tomadas por los líderes de opinión. La adopción se convierte en una necesidad en función de que la implementación de las decisiones de innovación de los adoptadores tempranos tenga beneficios sociales y/o económicos. Esta mayoría del sistema social se subdivide en dos grupos. La mayoría temprana que acepta el cambio más rápidamente de lo que hace la media y que están influidos directamente por los líderes de opinión. Y la mayoría tardía, más escéptica, que utilizará nuevos productos por la presión del entorno, solamente cuando la mayoría los esté utilizando porque su no adopción supone una pérdida de status o de capacidad económica.

Los últimos adoptadores, los rezagados, cuyo punto de referencia es el pasado y actúan con reservas en cuanto a la adopción, son críticos con las nuevas ideas y únicamente las aceptarán si son de consumo general o cuando se ha

---

<sup>36</sup> *Innovators, early adopters, early majority, late majority and laggards.*

transformado en una tradición. Estos pueden ser o muy tradicionales o aislados en su sistema social. Si son tradicionales, desconfían de las innovaciones y a menudo interactúan con otros que también mantienen valores tradicionales. Si están aislados, su falta de interacción social reduce su conocimiento de los beneficios contrastados de una innovación.

Por lo tanto, la incertidumbre de los adoptadores potenciales sobre una innovación es atenuada con un proceso social gradual. El punto de inflexión está marcado por la adopción de los líderes de opinión. Los líderes de opinión, bien informados, comunican su aprobación o desaprobación de una innovación al resto del sistema social, sobre la base de las experiencias de los innovadores. La mayoría responde adoptando rápidamente. Este análisis sugiere que la difusión de una innovación depende de un aspecto muy concreto: de si los líderes de opinión dan, o no, fe pública de ella.

#### 4.4.3 Curva de adopción

El proceso de adopción a lo largo del tiempo sigue una gráfica de distribución normal o campana de Gauss y el número acumulado de adoptadores sigue una curva en forma de S (ver apartado 4.2).

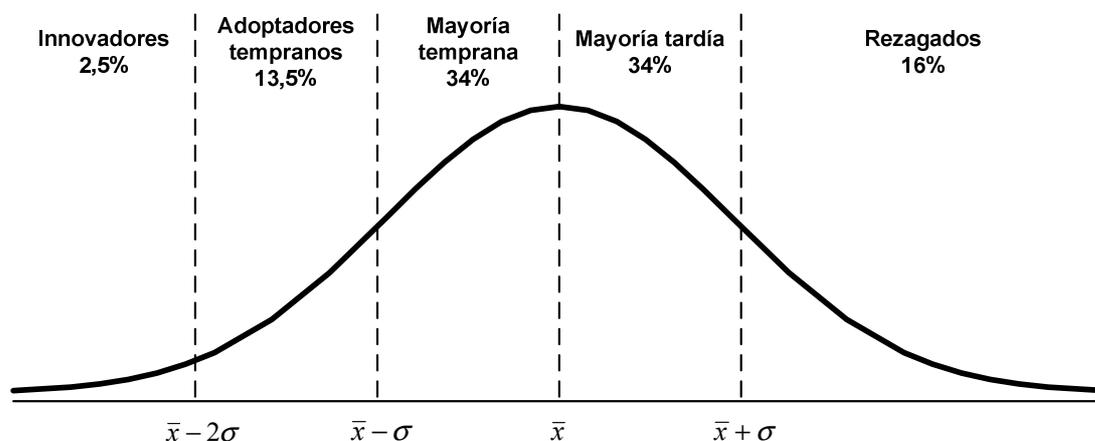


Figura 32. Curva de adopción de innovaciones de Rogers.  
Fuente: [ROGE03] adaptado por el autor.

El criterio para definirla, es lo que Rogers denomina innovatividad (*innovativeness*<sup>37</sup>) y que define como el grado en que un individuo es relativamente prematuro para adoptar nuevas ideas con anterioridad a otros miembros de un sistema social [ROGE03]. Es una variable continua cuya

<sup>37</sup> No existe una traducción en castellano del término “*innovativeness*”. Hemos decidido utilizar el anglicismo “innovatividad” en lugar de mantener el término original “*innovativeness*” o de la forma perifrástica “capacidad de innovación”, porque es una expresión que se suele utilizar en textos especializados en castellano y que particulariza el concepto que introdujo Rogers.

magnitud es relativa, es decir, que una persona tiene más o menos en relación con otros en un sistema.

La variable innovatividad se divide en las cinco categorías de adoptadores a partir de la desviación estándar ( $\sigma$ ) y del tiempo medio de adopción ( $\bar{x}$ ). El modelo muestra que al principio muy pocos innovadores adoptan la innovación (2.5%), los adoptantes tempranos que componen el 13.5% un poco más tarde, la mayoría temprana el 34%, la mayoría tardía el 34% y después de algún tiempo, finalmente los rezagados que forman el 16% (ver Figura 32).

La curva de adopción de innovaciones de Rogers nos ayuda a recordar que es inútil intentar convencer de una nueva idea rápida y globalmente. Es mejor comenzar convenciendo primero a los innovadores y a los adoptadores tempranos. Igualmente los porcentajes pueden ser utilizados como primer bosquejo para estimar el grupo objetivo para los propósitos de comunicación de una innovación.

#### 4.4.4 Caracterización de los sistemas sociales

Rogers clasifica a los sistemas sociales en dos clases: heterófilos (*heterophilous*) u homófilos<sup>38</sup> (*homophilous*) [ROGE03]. Por un lado, los sistemas sociales heterófilos tienden a promover el cambio de las normas del sistema. En ellos, hay una mayor interacción entre personas de diferentes orígenes, lo que implica un mayor interés a estar expuesto a nuevas ideas. Estos sistemas tienen un liderazgo de opinión que es más innovador y, por lo tanto, estos sistemas están abiertos a la adopción. Por otra parte, los sistemas sociales homófilos tienden a mantener las normas del sistema. La mayoría de las interacciones dentro de ellos es entre personas con antecedentes similares. Las personas e ideas que difieren de la norma son vistas como extrañas e indeseables. Estos sistemas tienen un liderazgo de opinión que no es muy innovador porque estos sistemas son contrarios a la innovación.

En los sistemas heterófilos, si los líderes de opinión está convencidos de adoptar una innovación, el resto se mostrará dispuesto a aprender y adoptarla. El efecto dominó se iniciará con interés en lugar de con resistencia.

Por el contrario, fomentar la adopción de una innovación en los sistemas homófilos es una tarea mucho más difícil. El objetivo debe ser un grupo de líderes de opinión más amplio, incluidos algunos de los menos populares, ya que las innovaciones tienen menor probabilidad de difundirse. Los líderes de

---

<sup>38</sup> El término homofilia hay que entenderlo en castellano como afinidad o parentesco entre dos especies, aunque no existe en el Diccionario de la Real Academia Española; si bien puede darse a confusión porque se suele utilizar como sinónimo de homosexualidad por oposición a homofobia.

opinión que adoptan innovaciones en los sistemas homófilos tienen más probabilidades de ser considerados como sospechosos y/o de ser apartados de su liderazgo. A menudo, en los sistemas homófilos, los líderes de opinión evitan la adopción de innovaciones con la intención de preservar su liderazgo. Se debe transmitir a los líderes de opinión un argumento convincente en favor de la innovación que enfatice la compatibilidad de la innovación con las normas del sistema.

Everett Rogers concluye que debemos abandonar las ideas preconcebidas según las cuales se adoptan las innovaciones que suponen algún grado de mejora en cuanto a eficiencia y que aquellas que no lo comportan son abandonadas. La realidad es mucho más compleja. Para ser adoptada, una innovación no sólo tiene que ser mejor que lo existente, además, debe ser integrable en la cultura de aquellos que la van a adoptar. Es decir, ninguna idea, ningún protocolo o ninguna tecnología serán adoptados si no encuentra un vínculo con la cultura de sus potenciales adoptadores.

En conclusión, aunque la Teoría de la Difusión de la Innovación de Rogers es un buen punto de inicio para el modelado de la difusión del proceso de innovación, ésta se basa en la suposición de que los miembros de la organización pueden elegir libre e independiente la adopción de una innovación. Con los sistemas informáticos de gestión estratégica, normalmente hay poca libertad de elección y la adopción es inevitable. Sin embargo, cómo funciona de manera natural este proceso de adopción es significativo, porque se trata de un fuerte determinante del comportamiento organizacional.

#### **4.5 Marco Conceptual para la Adopción de Innovaciones en una Organización de Frambach y Schillewaert**

Ruud T. Frambach y Niels Schillewaert [FRAM02] proponen un marco multinivel para la adopción de innovaciones en organizaciones. Dicho marco considera que la decisión de adopción se realiza en dos niveles: el nivel de la decisión realizada por la propia organización y el nivel de la decisión tomada por un adoptador individual dentro de una organización.

Este modelo se basa en investigaciones sobre la adopción de innovaciones y la aceptación de tecnología, concretamente sus principales modelos de referencia son la Teoría de la Difusión de la Innovación de Rogers (ver apartado 4.4) y el Modelo de Aceptación de la Tecnología de Davis (ver apartado 4.7). Rogers influye preferentemente en el nivel organizacional y Davis contribuye en el nivel individual. El modelo, al ser un marco genérico, requiere adaptarse a las características de cada organización [FRAM02].

### Nivel de adopción organizacional

Frambach y Schillewaert manifiestan que los marcos de uso común como el de Rogers sólo representan los efectos directos de los diferentes factores de influencia [FRAM02]. Los autores incluyen, además de los directos, los efectos indirectos, lo que lo convierte en un marco más amplio y general. A pesar de ello, y al igual que el modelo de Rogers, también proponen la existencia de fases en el proceso de adopción organizacional y que, a su vez, se pueden agrupar en dos fases principales: iniciación e implementación. La decisión de adoptar o rechazar una innovación ocurre entre las fases de iniciación e implementación. La fase de iniciación abarca la consciencia de una innovación, la formación de una actitud y la evaluación del producto. Durante el periodo de implementación, la organización decide adoptar y usar la innovación.

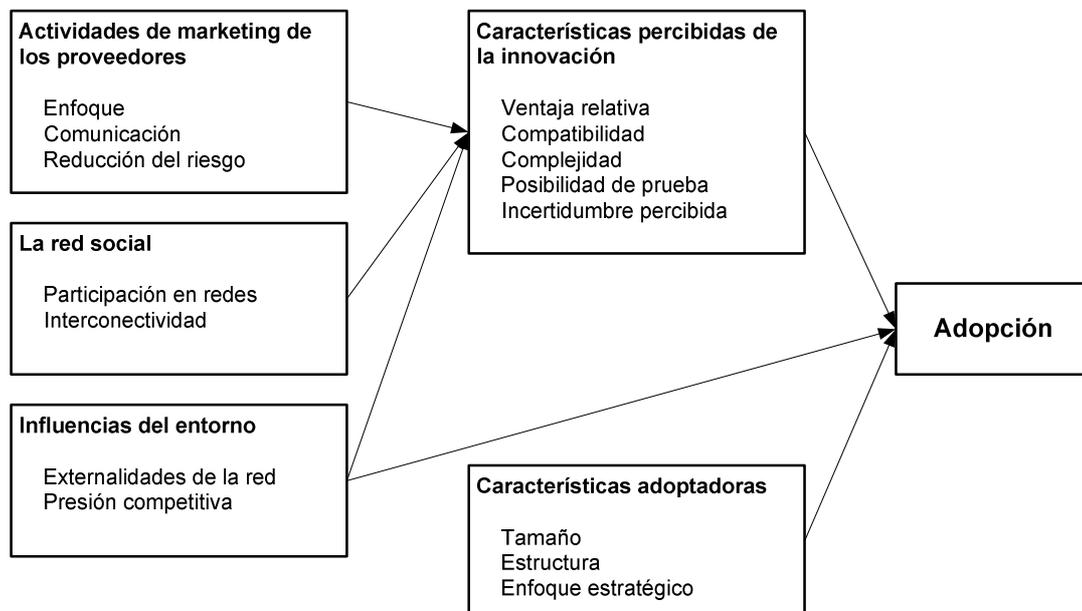


Figura 33. Marco conceptual de la adopción de innovaciones a nivel organizacional.

Fuente: [FRAM02] adaptado por el autor.

La Figura 33 muestra los factores que afectan a la adopción a nivel organizacional y sitúa a las *Características percibidas de la innovación* en el centro del modelo. Estas dirigen el proceso de *Adopción* junto con las *Características adoptadoras* propias de la organización. A su vez, mediadas por variables externas como *Influencias del entorno* y *La red social* del adoptador potencial, así como por las *Actividades de marketing de los proveedores* de la innovación. Las *Características percibidas de la innovación* pueden considerarse como indicadores que se reflejan en una actitud hacia la innovación y dado que los referentes teóricos que lo soporta consideran que las creencias mediatizan el impacto de las influencias externas, este marco

teórico propone que las *Características percibidas de la innovación* filtran el efecto de los proveedores, de la red social y de otras influencias del entorno sobre el comportamiento de adopción.

### Nivel de adopción individual en una organización

Las innovaciones que tienen que ser incorporadas a los procesos de una organización son de poco valor si no se usan o no se admiten. Los miembros deben aceptar una innovación para poder percibir los beneficios previstos. Por tanto, es importante analizar la aceptación de innovaciones en el seno de las organizaciones porque, si no hay aceptación entre el grupo objetivo, la organización no podrá apreciar las consecuencias deseadas y tal vez deberá suspender la adopción prevista.

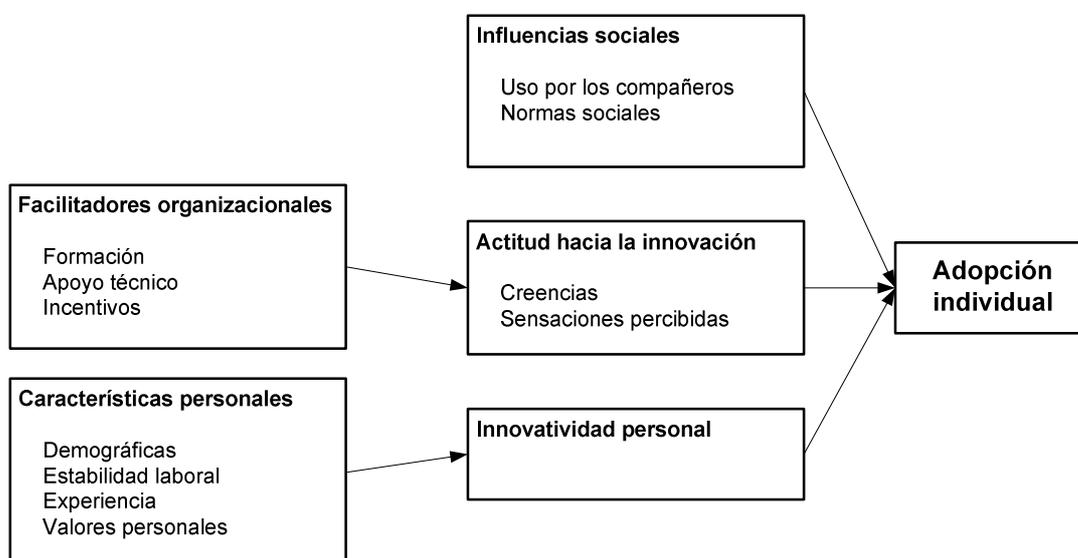


Figura 34. Marco conceptual de adopción de innovaciones a nivel individual en una organización.  
Fuente: [FRAM02] adaptado por el autor.

La Figura 34 muestra un marco general para entender la aceptación o *Adopción individual* que se basa en las teorías de adopción de innovaciones, de tecnologías de la información y en la literatura del aprendizaje organizacional.

En conclusión, el marco de Frambach y Schillewaert se puede considerar como un modelo principalmente descriptivo y su propósito es exponer las causas y efectos de las relaciones en lugar de pronosticar acciones futuras. Es un modelo orientado inicialmente a bienes de capital y servicios industriales. En relación al modelo de Rogers, su capacidad de la explicación aumenta relativamente debido al modelado de manera más detallada y a que introduce también factores indirectos en el proceso de adopción.

## 4.6 **Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning**

Nelson Repenning considera que, en general, el fracaso en la puesta en marcha de una innovación tecnológica no puede atribuirse a la falta de esfuerzo de implementación de las organizaciones. En su lugar, centra su atención en el análisis del proceso mediante el cual los miembros de una organización perciben la eficacia de la innovación, por ello el Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning se considera un modelo de adopción de innovaciones. Y para ello propone la Dinámica de Sistemas como una metodología adecuada para la naturaleza dinámica del proceso de adopción de la implementación de una innovación [REPE02].

Nelson Repenning es profesor asociado de la *Sloan School of Management* del MIT y en el periodo 2000 a 2002 lideró la *Implementation Dynamics Initiative* del *Center for Innovation in Product Development* del propio MIT. En el año 2003, al igual que Peter M. Milling dos años antes, recibió el *Jay W. Forrester Award*, que concede la *System Dynamics Society*.

El modelo parte del supuesto de que una organización adopta una innovación para mejorar su eficiencia. Aunque pueden ser organizativos o técnicos, los tipos de innovaciones que considera son los que, para ser eficaces, requiere que los miembros de la organización cambien su comportamiento de manera significativa [REPE02]. Considera, además, que la decisión formal de adopción ya se ha realizado, y en su lugar se centra en la implementación.

Repenning busca comprender cómo la dinámica organizacional limita la eficiencia de la adopción de una innovación para lo cual supone que, si se implementa adecuadamente, la innovación mejora el rendimiento de la organización. Y por ello su estudio lo enfoca hacia los miembros en una organización, hacia cómo elaboran sus opiniones relativas a la innovación.

El Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning se estructura en tres bucles de realimentación: Refuerzo, Difusión y Presión Normativa, donde el núcleo del modelo es la variable **Compromiso con la Innovación**. Repenning define compromiso como la tendencia o la determinación de alcanzar un objetivo. Dicho de otro modo, el modelo gira en torno al compromiso de alcanzar los objetivos mediante el uso de la innovación recién adoptada.

### 4.6.1 **Bucle Refuerzo**

El primer bucle de realimentación del modelo se muestra en la Figura 35 y recoge cómo el compromiso influye positivamente en los resultados a través

de la variable intermedia **Esfuerzo Destinado a la Innovación**. La relación positiva entre el **Compromiso con la Innovación** y el **Esfuerzo Destinado a la Innovación** indica que un aumento (o disminución) del compromiso produce un aumento (o disminución) en el esfuerzo dedicado al uso de la innovación. Del mismo modo, un aumento (o disminución) en el esfuerzo, con el resto en igualdad de condiciones, produce un aumento (o disminución) de los resultados. Los **Resultados** se definen como todo aumento de la eficiencia de la organización debido al uso de la innovación.

La relación causal entre **Resultados** y **Compromiso con la Innovación**, recoge la hipótesis de que un aumento en el nivel de los resultados atribuidos al uso de la innovación conduce a un compromiso adicional. Muchas teorías apoyan la existencia de este vínculo, así en la teoría de la motivación, la relación entre los resultados y el esfuerzo futuro se basa en la Ley de Efecto de Thorndike: Las acciones que llevan a resultados deseados es probable que se repitan; las acciones conducentes a resultados no deseados se evitarán [THOR11, citado en REPE02].



Figura 35. Bucle Refuerzo del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.  
Fuente: [REPE02] adaptado por el autor.

Añadiendo la relación entre **Resultados** y **Compromiso con la Innovación** se crea el bucle del modelo Refuerzo. Es un bucle de realimentación positiva que puede aumentar o disminuir el compromiso en función de su estado actual. Por ejemplo, un aumento en el nivel de los resultados atribuidos al uso de la innovación produce un compromiso adicional que, a su vez, lleva a un esfuerzo adicional, por lo tanto, aumenta más aún el nivel de los resultados.

#### 4.6.2 Bucle Difusión

En la Figura 36 se recoge la influencia de los resultados sobre el compromiso de los no usuarios añadiendo una nueva relación entre los **Resultados** y el

**Compromiso con la Innovación** por medio de la variable intermedia **Observación de la Relación Esfuerzo-Resultados por los Demás**. Mientras que el bucle anterior recogía la influencia de la experiencia directa, este nuevo bucle recoge el proceso de aprendizaje indirecto.

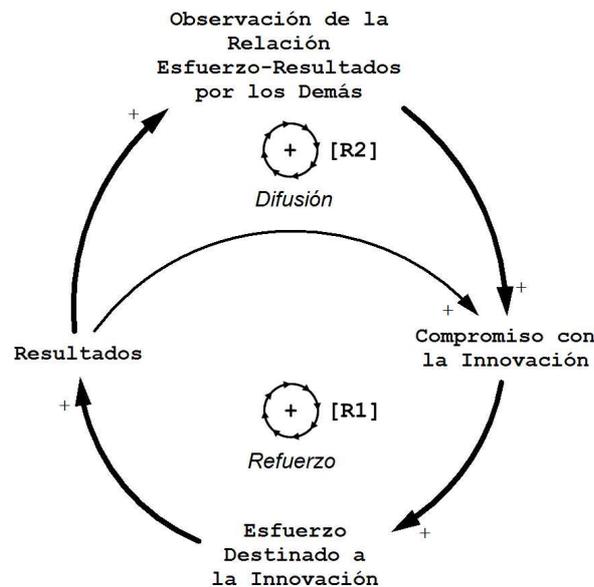


Figura 36. Bucle Difusión del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.  
Fuente: [REPE02] adaptado por el autor.

La variable intermedia **Observación de la Relación Esfuerzo-Resultados por los Demás** y los enlaces crean un segundo proceso de realimentación, el bucle de refuerzo **Difusión**, que influye en la dinámica de la implementación. El bucle **Difusión** también aparece ampliamente en la literatura, principalmente la Teoría de la Difusión de la Innovación de Rogers (ver apartado 4.4). Repenning cita a Wood y Bandura quienes afirman que prácticamente todos los fenómenos de aprendizaje resultantes de la experiencia directa también pueden producirse a partir de la observación del comportamiento de otras personas y de las consecuencias del mismo, es decir, el aprendizaje indirecto aumenta el nivel de motivación [WOOD98]. Este segundo bucle de realimentación, es también un bucle positivo como el bucle **Refuerzo**. A medida que el número de usuarios aumenta, hay cada vez más oportunidades de aprender de los demás, aprendizaje indirecto, creando así un proceso de auto-refuerzo.

#### 4.6.3 Bucle Presión Normativa

Aunque los procesos **Refuerzo** y **Difusión** son fundamentales para la identificación de la dinámica del compromiso, no pueden determinar completamente la evolución de un esfuerzo de implementación. Según se

desprende de la revisión bibliográfica sobre motivación y sobre compromiso realizada por Repenning, existen fuentes externas para el compromiso. Por ejemplo, tanto Scholl [SCHO81, citado en REPE02] como Weiner [WEIN82, citado en REPE02] distinguen entre la motivación que se deriva de las creencias instrumentales (expectativas estimadas de un resultado dada una acción) y otras fuentes de compromiso, principalmente la identificación y el cumplimiento de las normas subjetivas de la organización. La literatura también reconoce que la interacción entre la motivación instrumental y la presión normativa crea dinámicas que no son totalmente comprensibles [STEE91, citado en REPE02].

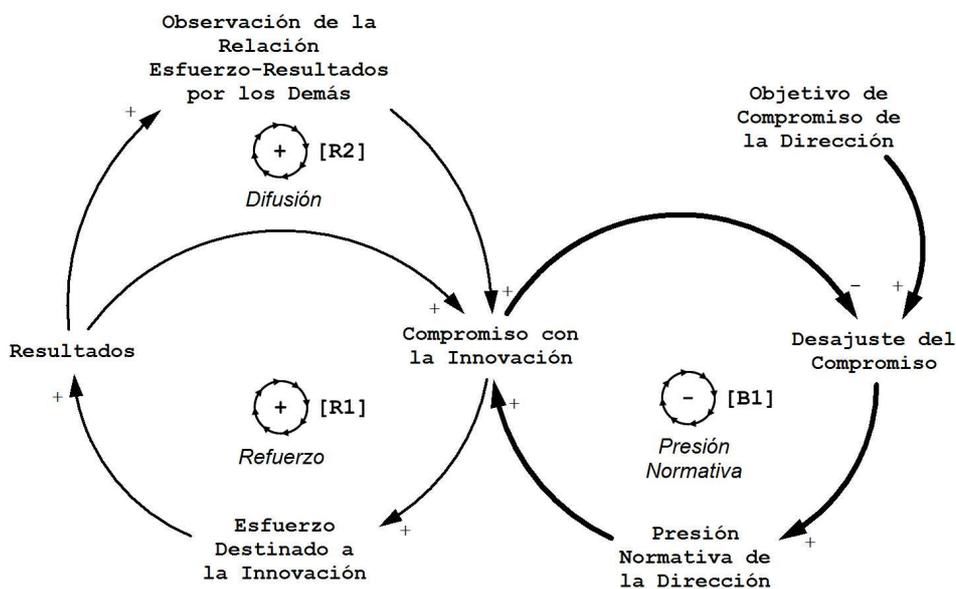


Figura 37. Bucle Presión Normativa del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.

Fuente: [REPE02] adaptado por el autor.

Si bien las fuentes no instrumentales del compromiso son múltiples, desde una perspectiva dinámica desempeñan un papel similar. Constituyen un estímulo para los procesos de refuerzo y de difusión. Para capturar esta influencia, Repenning supone que al decidir adoptar una innovación, la dirección establece un objetivo de compromiso de su uso, recogido con la variable exógena **Objetivo de Compromiso de la Dirección**. Las acciones de gestión orientadas para lograrlo se representa como un bucle de realimentación regulador (bucle B1 en la Figura 37). Este bucle representa un proceso a través del cual los líderes comparan el compromiso que desean con el compromiso que observan, por lo que se genera un **Desajuste del Compromiso**, y luego toman medidas para reducir ese desajuste. Las acciones para reducir el desajuste incluyen el compromiso público con el uso de la innovación, el establecimiento de sistemas de reconocimiento, y el fomento de la aceptación

a través de la vigilancia directa, que se expresa con la variable **Presión Normativa de la Dirección**.

#### **4.6.4 Comportamiento del modelo**

La Figura 37 resume el Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning. Una vez especificados y simulados, los resultados muestran tres características importantes del comportamiento del sistema. En primer lugar, los dos patrones básicos introducidos reproducen la experiencia real de la implementación. El esfuerzo, dependiendo de la duración de la presión de la dirección, o bien apenas produce resultados prematuros pero desaparece rápidamente tras la supresión de la presión de la dirección; o bien se convierte en sostenible y genera resultados significativos. En segundo lugar, el sistema no produce resultados intermedios; el esfuerzo o tiene éxito o fracasa. En tercer lugar, la relación entre la duración de la presión normativa y el compromiso es altamente no lineal [REPE02].

La primera clave para entender la dinámica de la implementación consiste en reconocer que los bucles Refuerzo y Difusión pueden trabajar en una de las dos direcciones, bien conduciendo el esfuerzo hacia adelante o bien dirigiéndolo hacia el fracaso. Esta dirección está determinada por el boca en boca, que viene determinado por los resultados reales comparados con una cierta expectativa de resultados. Inicialmente el boca en boca es negativo, ya que en ausencia de resultados, los miembros son escépticos acerca de la eficacia de la innovación. A pesar de esta pérdida, el compromiso crece debido a la presión normativa de la dirección. Si la presión normativa se aplica durante el tiempo suficiente, el incremento del compromiso supondrá un aumento de los resultados, invirtiendo a la larga el signo del boca en boca. Una vez que esto ocurre, los bucles Refuerzo y Difusión cambian de sentido y el sistema comienza a crecer en espiral. Entonces ya no es necesaria la presión normativa. A este punto Repenning lo llama “umbral de motivación”, ya que el esfuerzo de implementación cambia de una forma regresiva a una regenerativa.

La existencia del “umbral de motivación” proporciona una serie de conocimientos importantes sobre la dinámica de la implementación de innovaciones y la eficacia de la influencia sobre este proceso. En primer lugar, el impacto de la presión normativa depende del estado del compromiso relativo al “umbral de motivación”. En el periodo de regresión, el sistema parece resistir al esfuerzo de implementación, mientras que por encima del umbral la presión normativa tendrá poco efecto. Por debajo, pero cerca del “umbral de motivación”, pequeños cambios en la presión normativa pueden influir sensiblemente en el resultado del esfuerzo. Un esfuerzo de

implementación se hace sostenible en función del nivel de los resultados y de su posición relativa al “umbral de motivación”, el cual viene determinado por otras variables tales como el nivel inicial de escepticismo, la fuerza de los bucles Refuerzo y Difusión y las expectativas de éxito considerado por las personas [REPE02].

El modelo ha recibido algunas críticas porque, para reducir su complejidad, se han dejado fuera de este modelo variables, que ya han probado su contribución a la implementación de innovaciones. El definir la estructura del comportamiento se ha hecho a costa de sacrificar la precisión, lo cual puede poner en peligro la validez externa del análisis [HEIJ07]. Repenning reconoce estos inconvenientes y recomienda futuras mejoras en el sentido de aplicar el modelo a innovaciones y contextos más específicos, la ampliación con más bucles de realimentación y la mejora de las formulaciones [REPE02].

Sin embargo, el modelo también tiene grandes fortalezas y puntos de interés. Rifkin ha evaluado este modelo para utilizarlo en la evaluación de la adopción de software y destaca ventajas como que el modelo está firmemente entroncado en las teorías existentes, que puede explicar el éxito y el fracaso y que representa las características asociadas con el éxito de la implementación, tales como el liderazgo, la gestión del cambio y las recompensas [RIFK03].

#### **4.7 Modelo de Aceptación de la Tecnología**

El Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM, *Technology Acceptance Model*) es uno de los modelos de aceptación y uso individual de tecnologías más ampliamente empleados en los últimos años. El modelo fue inicialmente desarrollado en los años 80 [DAVI89a, DAVI89b] y desde que fuera propuesto por Fred Davis en el año 1985 en su tesis doctoral titulada “*A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results*”, defendida en la *Sloan School of Management* del MIT, ha sufrido diversas ampliaciones teóricas [VENK00a, VENK00b, VENK03, AMOA04]. Es un modelo respaldado por numerosas investigaciones y para una revisión de su aplicación se pueden leer los artículos de Lee, Kozar y Larsen [LEE03] o de Venkatesh, Davis y Morris [VENK07]. De los modelos presentados en este capítulo sobre difusión y adopción de innovaciones, es el que mantiene un debate más intenso [BENB07, VENK07].

Una de las principales medidas del éxito de una implementación de las tecnologías de la información es alcanzar el nivel de uso previsto; y el uso de un sistema es el indicador de la aceptación de la tecnología por parte de los usuarios. El núcleo del modelo es simple y después de distintas evoluciones se

reduce a tres variables que influyen en la adopción individual de una nueva tecnología: la Utilidad percibida, la Facilidad de uso percibida y la Intención de uso.

En este apartado vamos a estudiar el modelo original así como dos de los desarrollos posteriores del Modelo de Aceptación de la Tecnología. Las evoluciones “oficiales” han sido propuestas por el investigador de origen hindú Viswanath Venkatesh, que es considerado uno de los más productivos en este campo, en colaboración con el propio Fred Davis. Concretamente vamos a revisar la versión conocida como TAM2 [VENK00a] y la propuesta de Amoako-Gyampah y Salam [AMOA04] porque está orientada a sistemas informáticos de gran tamaño como son los sistemas ERP<sup>41</sup> y que se ajusta al problema que ha motivado esta tesis.

#### 4.7.1 Modelo de Aceptación de la Tecnología original (TAM)

El Modelo de Aceptación de la Tecnología está basado en la Teoría de la Acción Razonada<sup>39</sup> [FISH75, AJZE80]. En consonancia con esta teoría, el Modelo de Aceptación de Tecnología postula que el uso de una tecnología, o de una innovación informática, está determinado por la intención de uso de dicha tecnología.

Las relaciones del Modelo de Aceptación de la Tecnología original (TAM, *Technology Acceptance Model*) se muestran en la Figura 38. El modelo conocido como TAM explica la aceptación individual de una tecnología informática sobre la base de cuatro variables: la *Utilidad percibida*, la *Facilidad de uso percibida*, la *Actitud hacia el uso de la tecnología* y la *Intención de uso*.

---

<sup>39</sup> La Teoría de la Acción Razonada (*Theory of Reasoned Action*) es un modelo de la Psicología Social desarrollado por Martin Fishbein y Icek Ajzen [FISH75, AJZE80] para la predicción y comprensión de la conducta humana. A diferencia de otras teorías, no se centra en los valores y la personalidad, sino que propone que la conducta de una persona está condicionada por su intención de llevarla a cabo (si desea o no hacerlo). Esta intención es función de dos factores: su actitud (de naturaleza personal) y sus normas subjetivas (de naturaleza social). La actitud está determinada por sus creencias sobre las consecuencias de esta conducta mediatizadas por su evaluación de dichas consecuencias. Las creencias se definen por la probabilidad subjetiva de que la realización de una conducta particular producirá resultados concretos. Por norma subjetiva se entiende como la percepción que un individuo tiene de que los demás consideran que debe realizar o no la conducta en cuestión (la presión del grupo). La Teoría de la Acción Razonada considera que el mejor indicador del comportamiento es la intención porque muestra el esfuerzo que los individuos están dispuestos a invertir con el fin de desarrollar una acción. En definitiva, esta teoría se basa en la suposición de que los seres humanos son normalmente racionales y hacen un uso sistemático de la información de que disponen; y que la intención se sitúa en el equilibrio entre lo que se piensa que se debe hacer y lo que se percibe de que los otros piensan que se debe hacer.

La *Utilidad percibida* se define como el grado en que una persona piensa que su rendimiento mejorará con el uso de un sistema determinado; y la *Facilidad de uso percibida* es el grado en que un individuo cree que el uso de la tecnología está libre de esfuerzo. El modelo establece que ambas variables determinan directamente la adopción. Este modelo sugiere también, que la *Facilidad de uso percibida* influye a su vez en la *Utilidad percibida*, debido a que las tecnologías que son fáciles de usar pueden ser más útiles. De hecho, el esfuerzo que se ahorra debido al fácil uso de los sistemas se puede redirigir a realizar otro trabajo con el mismo esfuerzo total. Igualmente, cuanto más sencillo es interactuar con un sistema, mayor será el sentido de eficacia, es decir aumentará la autoeficacia [BAND82].

A su vez, la *Actitud hacia el uso de la tecnología* es la reacción emocional (gusta o no) ante el uso de un sistema específico. Esta actitud se ve condicionada tanto por la *Utilidad percibida* como por la *Facilidad de uso percibida*. Y como hemos indicado, tanto la *Utilidad percibida* como la *Actitud hacia el uso de la tecnología* influyen positivamente en la *Intención de uso* que, a su vez, predice el *Uso de la tecnología*. La *Facilidad de uso percibida* tiene un efecto indirecto sobre la *Intención de uso* de un individuo a través de la *Utilidad percibida* y de la *Actitud hacia el uso de la tecnología*.

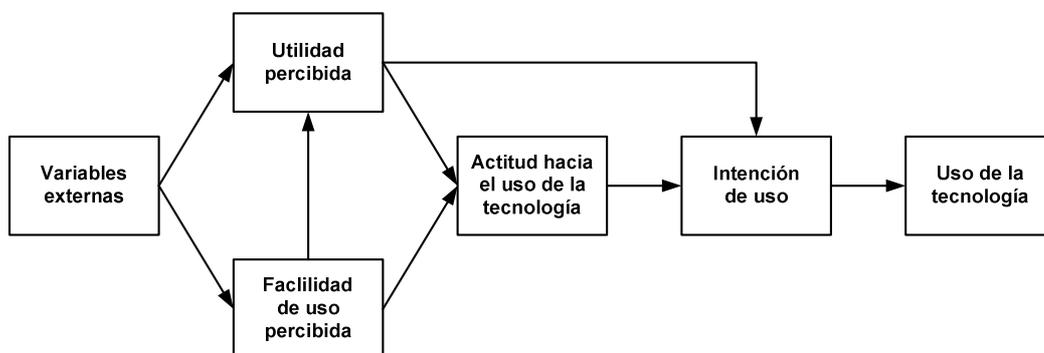


Figura 38. Modelo de Aceptación Tecnológica original.

Fuente: [DAVI89b] adaptado por el autor.

Como se ve en la Figura 38, el Modelo de Aceptación Tecnológica considera que se producen influencias de *Variables externas* sobre la adopción, como la documentación o el asesoramiento al usuario, y que estas operan a través de la *Utilidad percibida* y la *Facilidad de uso percibida*. Por lo tanto, se supone que las creencias de los individuos, al menos en parte, filtran los efectos de las variables organizacionales, sociales e individuales.

Además, la *Utilidad percibida* y la *Facilidad de uso percibida* son particularmente importantes para explicar el comportamiento de la *Intención de uso* de los sistemas de información [AMOA04] y la comprensión de estas

dos variables permite el diseño de intervenciones efectivas para aumentar el uso de nuevos sistemas informáticos [VENK00a].

#### 4.7.2 Primera ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM2)

Venkatesh y Davis ampliaron el Modelo de Aceptación de Tecnología original para explicar la *Utilidad percibida* y la *Intención de uso* en términos de influencia social y procesos cognitivos [VENK00a]. Lo primero que destaca de esta nueva versión, conocida como TAM2, es la eliminación de la variable *Actitud hacia el uso de la tecnología* estableciéndose la *Utilidad percibida* y la *Facilidad de uso percibida* como antecedentes directos de la *Intención de uso* constituyendo lo que actualmente se conoce como núcleo del Modelo de Aceptación Tecnológica (ver Figura 39). Tras una serie de investigaciones Venkatesh y Davis concluyeron que las medidas de ajuste de la variable *Actitud hacia el uso de la tecnología* no podían ser consideradas como suficientes para mantener ese concepto dentro del modelo [VENK00a]. Además argumentan que la relación directa entre la *Utilidad percibida* y la *Intención de uso* está basada en reglas de decisión cognitivas para mejorar el rendimiento laboral, por lo que decidieron prescindir del componente emocional representado por la variable *Actitud hacia el uso de la tecnología*.

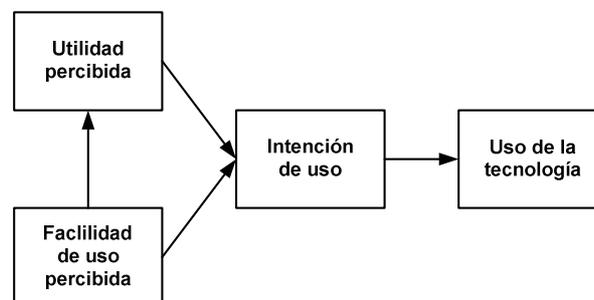


Figura 39. Núcleo del Modelo de Aceptación Tecnológica.  
Fuente: [VENK00a] adaptado por el autor.

Entre las variables incluidas en TAM2 destaca la *Norma subjetiva* como condicionante de la *Intención de uso* en el caso de escenarios obligatorios. La *Norma subjetiva* es la medida en que un individuo considera importante que otros piensen que dicho individuo debe utilizar la tecnología en cuestión. Está adaptada a partir de dos teorías, de la Teoría de la Acción Razonada<sup>39</sup> y de la Teoría del Comportamiento Planificado<sup>40</sup>. Davis ya había criticado su propio

<sup>40</sup> La Teoría del Comportamiento Planificado (*Theory of Planned Behavior*) es una extensión de la Teoría de la Acción Razonada propuesta por Icek Ajzen [AJZE85, AJZE88, AJZE91]. Considera los mismos factores que la Teoría de la Acción Razonada, pero añadiendo la variable denominada control conductual percibido, que representa la percepción de la facilidad o dificultad de realizar una conducta específica (si va a ser capaz o no, si será fácil o difícil) y que recoge tanto la experiencia como la

modelo señalando la omisión de dicha variable de la Psicología Social, subrayando la dificultad para distinguir si el comportamiento de uso está causado por la influencia de los grupos de referencia o por las actitudes, e indicando que necesitaba mayor investigación [DAVI89b].

Sin embargo, y curiosamente, a pesar de la importancia de la influencia social como un indicador de la intención y del comportamiento en determinadas situaciones, se ha demostrado que su importancia está condicionada por la *Experiencia* en el uso tecnología; es decir, las opiniones de los demás tienen peso en las decisiones del uso de la tecnología si antes se ha adquirido la experiencia suficiente como para sentirse seguro de cara a tomar una decisión independiente [VENK00a, VENK00b, VENK03].

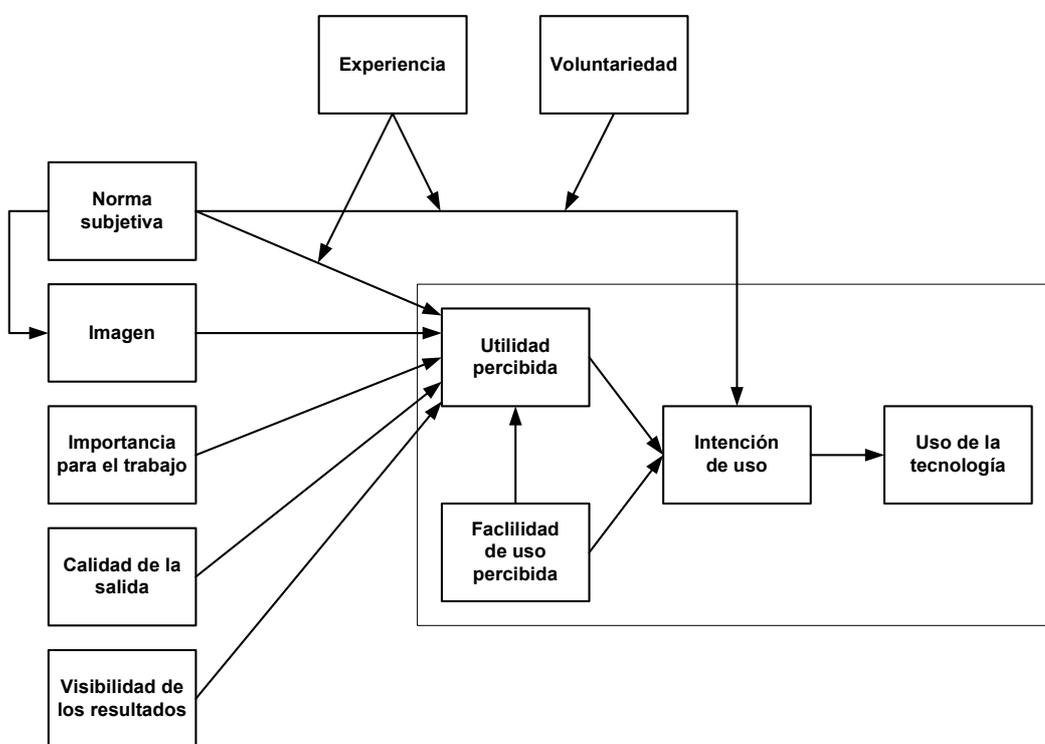


Figura 40. Ampliación del Modelo de Aceptación Tecnológica, TAM2.  
Fuente: [VENK00a] adaptado por el autor.

La Figura 40 recoge las variables externas propuestas por Venkatesh y Davis para ampliar y detallar el modelo original. Estas variables influyen directamente sobre la *Utilidad percibida* del sistema de información, a

---

previsión de dificultades. Por lo tanto, la Teoría del Comportamiento Planificado considera la intención es función de tres factores: las creencias sobre las consecuencias probables de la conducta (actitud), las creencias sobre las expectativas normativas de otros (normas subjetivas) y las creencias sobre la presencia de factores que pueden facilitar u obstaculizar el comportamiento. Ajzen introduce el grado con que un individuo cree controlar su vida y cuán previsibles son los acontecimientos que influyen en ella.

diferencia de la versión original que también influía en la *Facilidad de uso percibida*. Se introduce la evolución en el tiempo con el factor *Experiencia* y tanto la *Imagen* del sistema (grado en que se percibe que el uso de una innovación puede mejorar el *status* en su entorno social) como la *Visibilidad de los resultados* (indicador de lo tangibles que son los resultados del uso del sistema) hacen referencia a los estímulos del entorno. La *Calidad de la salida* (grado en que un individuo considera que el sistema realiza bien las tareas) es en parte una propiedad del sistema y la *Importancia para el trabajo* (percepción del individuo del grado en que el sistema es relevante para su trabajo) depende del diseño organizativo y del proceso de negocio. Con la variable *Voluntariedad*, definida como el grado de percepción de que la decisión de adopción no es obligatoria, se plantea la distinción entre el uso de la tecnología voluntario o impuesto; es decir, cuando un usuario decide por sí mismo usar algo, estamos ante su decisión voluntaria; cuando la organización decide que un miembro debe usar algo, estamos ante una decisión impuesta. La variable *Voluntariedad* puede explicar en parte cómo las tecnologías son aceptadas porque la tecnología que se usa por voluntad propia está más cercana a la adopción [VENK00a].

Venkatesh y Davis concluyen que los enfoques de introducción de nuevos sistemas basados en su uso obligatorio, parecen ser menos eficaces a lo largo del tiempo que la utilización de la influencia social para orientar los cambios positivos en la utilidad percibida y sugieren que se deben desarrollar prácticas alternativas sobre la base de la interacción social, como el aumento de la credibilidad de la fuente de información o el diseño de campañas de comunicación para elevar el prestigio asociado al uso del sistema. Y que desde un punto de vista más instrumental, además de diseñar sistemas para adaptar mejor las necesidades de relevancia para el trabajo, mejorar la calidad de la salida, o hacer más fácil su uso, sugieren que las intervenciones prácticas para aumentar la visibilidad de los resultados, como demostraciones prácticas a los usuarios de la efectividad de un nuevo sistema, pueden proporcionar un impulso importante para una aceptación cada vez mayor [VENK00a].

### **4.7.3 Ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología a entornos ERP**

En 2003 Amoako-Gyampah y Salam [AMOA04] ampliaron el Modelo de Aceptación de la Tecnología específicamente para implementaciones de sistemas ERP<sup>41</sup>. Los autores sostienen que este tipo de aplicaciones tienen un

---

<sup>41</sup> Un sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) es un software integrado para manejar múltiples funciones corporativas que incluyen las finanzas, los recursos humanos, la fabricación, la gestión de materiales y las ventas y distribución.

impacto grande en una organización y que debe tenerse en cuenta las aportaciones de la gestión del cambio.

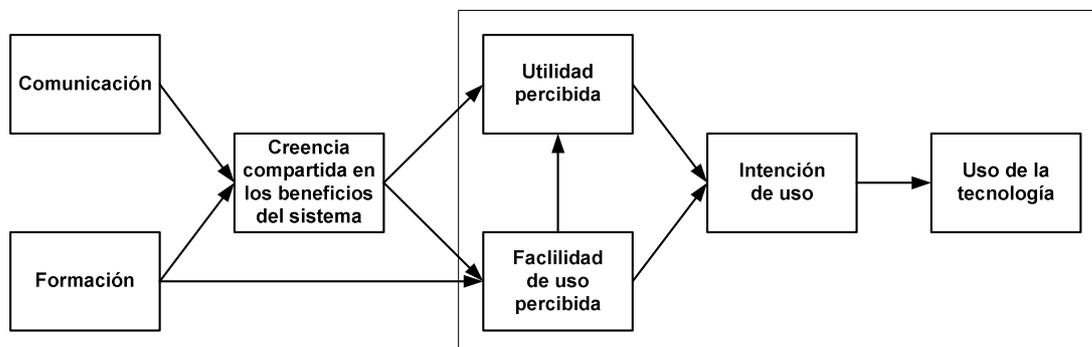


Figura 41. Ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología a entornos ERP.  
Fuente: [AMOA04] adaptado por el autor.

Amoako-Gyampah y Salam consideran que lo que permite que a los miembros de una organización se alineen con la nueva estrategia es que tengan un sentimiento compartido en los beneficios de un sistema de información y construyen el modelo entorno a la variable intermedia *Creencia compartida en los beneficios del sistema* que refleja la visión común de los beneficios del sistema ERP entre los usuarios del sistema. El modelo se completa con otras dos variables importantes y reconocidas en la investigación en Sistemas de Información, que son la *Formación* y la de *Comunicación* del proyecto, como dos factores externos que afectan a las variables del núcleo de TAM a través de dicha variable *Creencia compartida en los beneficios del sistema*, como se representa en la Figura 41.

La variable *Creencia compartida en los beneficios del sistema* posibilita que los usuarios puedan entender las diferentes maneras en que el sistema ERP será productivo. Además les permite percibir que el sistema será fácil de utilizar y su uso será cada vez más significativo. Por eso esta variable influye directamente sobre la *Utilidad percibida* y la *Facilidad de uso percibida* durante el proceso de implementación de tecnologías. En un entorno ERP los usuarios están más preocupados con el objetivo más global de cómo el sistema apoya los procesos de negocio más que en la propia tecnología [AMOA04].

La *Formación* proporciona el mecanismo práctico que permite a los usuarios del sistema ERP explorar el sistema tanto desde el punto de vista técnico como funcional, es decir, permite a los usuarios explorar la *Facilidad de uso percibida* del sistema. De este modo, la *Formación* contribuye al establecimiento de la *Creencia compartida en los beneficios del sistema*, a la vez que influye en la *Facilidad de uso percibida* del sistema. Los gestores disponen de una herramienta, la *Formación*, para apoyar la elaboración de creencias que afectan a la actitud que, a su vez, contribuya a la *Intención de*

*uso*. Al proporcionar un entorno adecuado de formación en el que los usuarios tienen la posibilidad de interactuar con el sistema ERP, o un prototipo, los gestores pueden influir en la elaboración de creencias sobre la *Utilidad percibida* y los beneficios de la ERP. Es decir, la *Formación* influye positivamente tanto en la *Utilidad percibida* como en la *Facilidad de uso percibida* del sistema por medio de la variable *Creencia compartida en los beneficios del sistema*.

La *Comunicación* está considerada como el elemento crítico que permite a las personas cambiar sus actitudes y comportamiento. Entre las principales funciones que desempeña la comunicación se encuentra la difusión y la obtención de información y la creación de conocimiento entre los miembros de la organización que conduce a la generación de creencias compartidas entre ellos. El modelo indica que si los gestores ponen en marcha mecanismos de comunicación, entonces es probable que la comunicación tenga un efecto positivo sobre la variable *Creencia compartida en los beneficios del sistema*, que conducirá a un aumento en la aceptación de la tecnología.

En definitiva, el modelo se centra en la *Comunicación*, la *Formación* y la *Creencia compartida en los beneficios del sistema* ERP. Esta confianza puede ser creada por la formación, por la comprensión del funcionamiento del sistema y con la comunicación de los cambios, avances y resultados. De esta manera, cuando los usuarios comparten sus convicciones en las ventajas de los nuevos sistemas ERP, su *Facilidad de uso percibida* y la *Utilidad percibida* irán en aumento. Los responsables de una organización pueden tomar iniciativas de comunicación efectivas, junto con una formación eficaz sobre el sistema ERP para influir en las variables del núcleo de TAM.

#### **4.7.4 Conclusiones acerca del Modelo de Aceptación de la Tecnología**

Como hemos comentado al comienzo de este apartado, el Modelo de Aceptación de la Tecnología es uno de los modelos más referidos en los últimos años y está en permanente debate. Asimismo es un buen ejemplo de cómo se ha extendido un modelo y de cómo se ha aplicado.

El Modelo de Aceptación de la Tecnología se ha mantenido conscientemente como un modelo reducido y aunque esto es visto como una fortaleza, también se ha advertido su debilidad [VENK00a], porque se entiende que quizás la reducción del problema de la aceptación de la tecnología a unas pocas variables clave es demasiado simplista. Esto ha motivado las ampliaciones del modelo con objeto de explicar mejor la aceptación de la tecnología.

El Modelo de Aceptación de la Tecnología está concebido como un modelo lineal, no está enfocado como un modelo sistémico, si bien es cierto que en muchas de consideraciones existen explicaciones que encierran una justificación sistémica. En la revisión bibliográfica realizada por el autor sólo se ha encontrado una referencia que proponga un modelo de simulación dinámica del Modelo de Aceptación de la Tecnología. La ponencia de Wang y Liu [WANG05] presentan un modelo de Dinámica de Sistemas que combina el Modelo de Aceptación de la Tecnología con el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de DeLone y Mclean (ver apartado 4.8).

#### 4.8 **Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y McLean**

DeLone y McLean propusieron su primer Modelo del Éxito de los Sistemas de Información (*Delone and Mclean's Model of Information Systems Success, D&M IS Success Model*) en 1992 [DELO92]. El objetivo principal de este modelo era identificar los factores que contribuían al éxito de los sistemas de información. Identificaron lo que denominan seis dimensiones clave para la evaluación del éxito de un sistema de información, que son la *Calidad de la información*, la *Calidad del sistema*, el *Uso*, la *Satisfacción del usuario*, el *Impacto individual* y el *Impacto organizacional*, y se diseñó el modelo usando estas dimensiones tal como se presentan en la Figura 42.

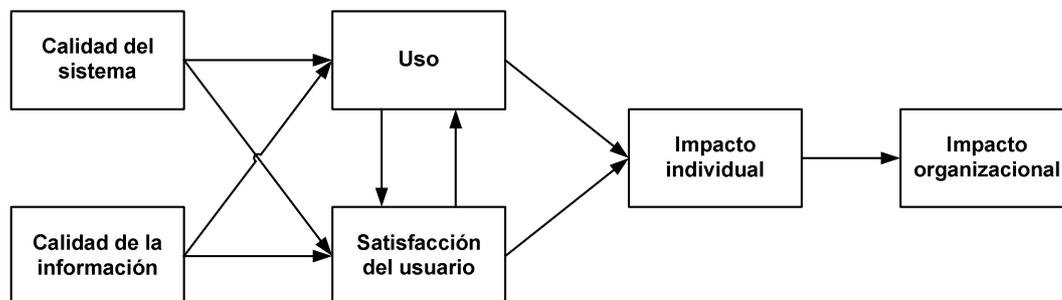


Figura 42. Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean original.  
Fuente: [DELO92] adaptado por el autor.

La *Calidad del sistema* se hace referencia al rendimiento del propio sistema de información y mide el éxito técnico, mientras que la *Calidad de la información* se refiere a lo buena que es la salida de un sistema de información en particular, es decir, mide el éxito semántico. El *Uso* indica en qué medida se utilizan los resultados del sistema de información. La *Satisfacción del usuario* representa la valoración general de los usuarios sobre el sistema de información. El *Impacto individual* se refiere a la influencia de los resultados del sistema de información sobre el comportamiento individual de los usuarios, mientras que el *Impacto organizacional* hace referencia a los efectos

de la utilización de los sistemas de información en el rendimiento del conjunto de la organización.

DeLone y McLean proponen que la *Calidad de la información* y la *Calidad del sistema* influyen tanto en el *Uso* como en la *Satisfacción del usuario*. El *Uso* y la *Satisfacción del usuario* a su vez afectan al *Impacto individual*, y el *Impacto individual* en última instancia influye en el *Impacto organizacional*.

El modelo se construyó sobre la base de la naturaleza lineal del proceso y los autores especifican que cuando se utilice el modelo, el objetivo debería ser el análisis de cómo las seis dimensiones están interrelacionadas y en qué dependen unas de otras, en lugar de preocuparse por las relaciones causales entre ellas [DELO92].

Diez años más tarde DeLone y McLean revisan su Modelo del Éxito de los Sistemas de Información original [DELO03] tomando en cuenta las opiniones y críticas de otros académicos y profesionales, en especial las aportaciones de Seddon<sup>42</sup> [SEDD97]. Han incluido algunos factores que actualmente se consideran importantes para la evaluación del éxito de un sistema de información, sobre todo factores que son necesarios para medir el éxito en sistemas de comercio electrónico. El nuevo Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de DeLone y Mclean se presenta en la Figura 43.

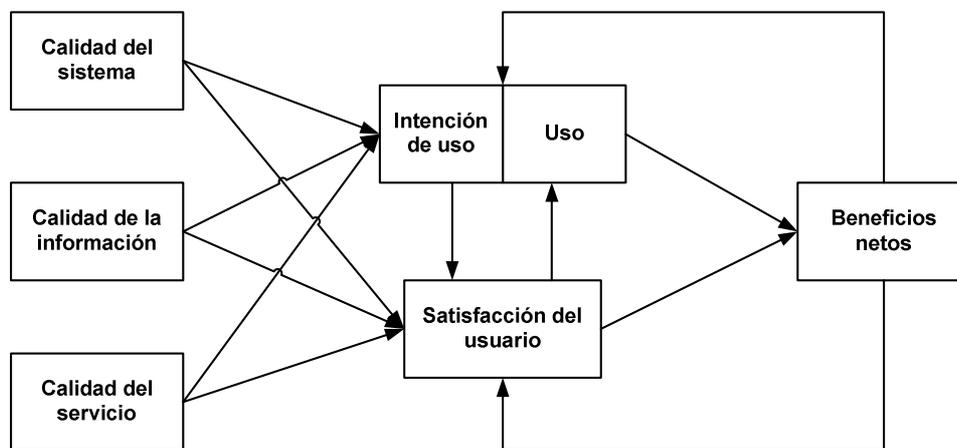


Figura 43. Segunda versión del Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de DeLone y Mclean. Fuente: [DELO03] adaptado por el autor.

En el modelo renovado de DeLone y McLean, no se consideran separadamente los impactos individual y organizacional, y otros tipos nuevos de impacto como

<sup>42</sup> Seddon afirmó que el uso de un sistema de información es un comportamiento más que una medida de éxito y propuso sustituir en el modelo de DeLone y McLean la variable “uso” por “utilidad percibida” como medida general de la percepción de los beneficios netos del uso de un sistema de información.

el impacto en el grupo de trabajo o el impacto en el consumidor. Por el contrario, DeLone y McLean utilizan el término *Beneficios netos* para representar a todas las medidas de impacto con objeto de simplificar el modelo.

Además, DeLone y McLean admiten que la variable *Uso* de su modelo original se define sin tener en cuenta la complejidad real ni las dificultades en la interpretación (obligatorio o voluntario, informado o mal informado, eficaz o ineficaz,...) [SEDD97]. Encontraron que desde la perspectiva de los usuarios del sistema, especialmente de los usuarios de sistemas de comercio electrónico, no siempre están obligados a utilizar el sistema. El uso de los sistemas representados por este tipo de usuarios puede no poder representar totalmente el concepto complejo de *Uso* de cara a la evaluación de los *Beneficios netos* en determinadas circunstancias. Afirman que “la disminución del uso puede ser un indicador importante de que los beneficios previstos no se están consiguiendo” [DELO03]. En consecuencia, proponen para su nuevo modelo la variable *Intención de uso* como una alternativa al *Uso* en determinados contextos. La *Intención de uso* es una actitud, mientras que el *Uso* es un comportamiento. Sin embargo, indican que las actitudes, y sus vínculos con el comportamiento, son difíciles de medir y consideran que este factor ayuda a la comprensión del mismo.

Por otra parte, DeLone y McLean añaden la variable *Calidad del servicio*, junto con la *Calidad del sistema* y la *Calidad de la información*, como una dimensión importante que influye en la *Intención de uso / Uso* así como en la *Satisfacción del usuario*. Por *Calidad del servicio* se entiende el soporte dado por el proveedor del servicio, se aplica independientemente de que dicho soporte se realice por el departamento de informática o sea subcontratado a un externo. Su importancia es cada vez mayor en especial en entornos de comercio electrónico, ya que los usuarios ahora son los clientes y una falta de ayuda a los usuarios se puede traducir en pérdida de clientes y/o de ventas. Señalan que cada una de las tres dimensiones de la calidad tiene diferente peso en función del nivel de análisis. Para medir únicamente el éxito de un sistema, la *Calidad de la información* o la *Calidad del sistema* pueden tener más importancia. Por el contrario, para medir el éxito global del departamento de informática, en contraposición, la *Calidad del servicio* puede ser la variable más significativa. De cara a distinguir el significado de cada una de estas tres dimensiones podemos ver los indicadores que proponen los autores. Para la *Calidad del sistema*: adaptabilidad, disponibilidad, fiabilidad, tiempo de respuesta y facilidad de uso; para la *Calidad de la información*: integridad, facilidad de comprensión, personalización, importancia y seguridad; y para la *Calidad del servicio*: garantía, empatía y capacidad de respuesta.

Por último, algunos investigadores han sugerido que la *Satisfacción del usuario* provoca el *Uso* del sistema y no al revés. Concretamente Seddon sostenía que el *Uso* del sistema debe preceder a los impactos y a los beneficios, pero que no era la causa de estos. En consecuencia, el *Uso* debería ser un comportamiento que reflejara la expectativa de los beneficios del sistema debido a su uso y, por tanto, sería una consecuencia del éxito de los sistemas de información, más que un factor determinante de los *Beneficios netos*. Algunos estudios empíricos también encontraron que la asociación entre el *Uso* del sistema y los *Beneficios netos* no era estadísticamente significativa. El *Uso* del sistema es necesario pero no suficiente para producir *Beneficios netos* del sistema. La *Satisfacción del usuario* resulta de las sensaciones y de las actitudes de combinar todos los beneficios que una persona espera recibir de la interacción con los sistemas de información [IVES83]. De hecho, la actitud no puede influir en los beneficios del sistema; por el contrario, la percepción de los beneficios del sistema puede influir en la satisfacción de los usuarios. Por lo tanto, el *Impacto individual* y los *Beneficios netos* pueden producir la *Satisfacción del usuario* (pero no al revés)

#### **Análisis del carácter sistémico del modelo**

Aunque la segunda versión del Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean sigue estando vertebrada sobre un sentido lineal, se incluyen expresamente relaciones de realimentación aunque sin especificar el signo de las relaciones. Esta causalidad se expresa en las relaciones como las que existen entre el *Uso* y la *Satisfacción del usuario*. El término *Uso* debe preceder a la *Satisfacción del usuario* en un sentido de proceso lineal, pero una experiencia positiva con el *Uso* dará lugar a una mayor *Satisfacción del usuario* en un sentido causal. Del mismo modo, el aumento de la *Satisfacción del usuario* provoca un aumento de la *Intención de uso* y, por tanto, del *Uso*. A su vez, y como resultado del *Uso* y de la *Satisfacción del usuario*, se van a producir ciertos *Beneficios netos*. Si se mantiene el sistema de información o el servicio, se supone que los *Beneficios netos* son positivos, influyendo y reforzando en consecuencia el *Uso* y la *Satisfacción del usuario*. Estos bucles de realimentación siguen siendo válidos cuando los *Beneficios netos* son negativos. La falta de beneficios positivos es probable que conduzca a una disminución del *Uso* y a la posible interrupción del sistema de información o del propio departamento de informática (por ejemplo, aumentando la contratación externa).

Sin embargo es curioso que Delone y McLean muestran una concepción distinta del signo de las relaciones con respecto a la utilizada en los Diagramas Causales de la Dinámica de Sistemas. Esto lo podemos ver cuando los autores, refiriéndose a su segunda versión, comentan que “incluye flechas para mostrar las relaciones propuestas entre las dimensiones del éxito en un sentido lineal de un proceso, pero no se muestran los signos positivo o negativo de las relaciones

en un sentido causal. La naturaleza de estas relaciones de causalidad debe ser supuesta en el contexto de cada estudio particular. Por ejemplo, en el caso de un sistema de alta calidad se asociará a un mayor *Uso*, a una mayor *Satisfacción del usuario* y a unos *Beneficios netos* positivos. Las relaciones propuestas serían entonces todas positivas. En otras circunstancias, un mayor *Uso* de un sistema de mala calidad será asociado con una mayor insatisfacción y a *Beneficios netos* negativos. Las relaciones propuestas entonces serían negativas” [DELO03].

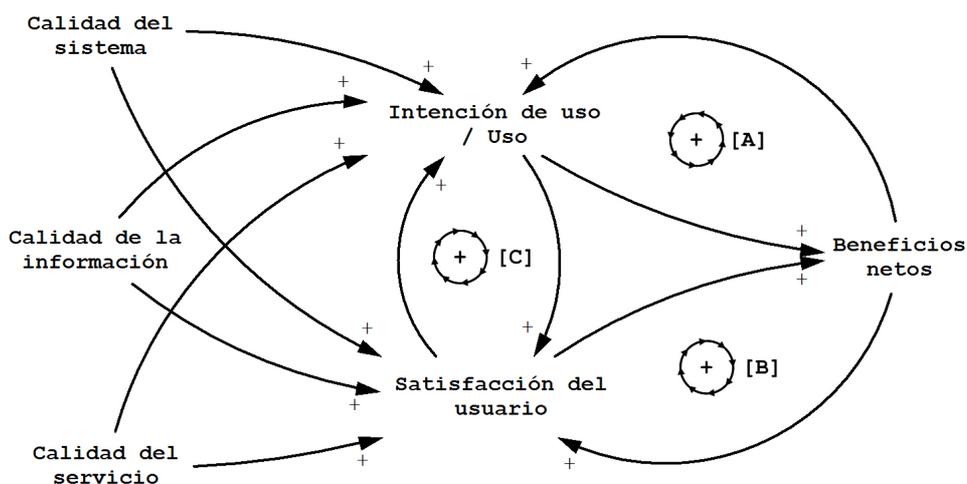


Figura 44. Diagrama Causal de la segunda versión del Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean modificado.

A nuestro entender la reflexión de los autores no se ajusta adecuadamente al modelo que plantean. Según el modelo no es cierto que haya un mayor *Uso* de un sistema de mala calidad. Porque una disminución de la calidad se traduce en una disminución del *Uso* y de la *Satisfacción del usuario*, lo que implica una disminución de los *Beneficios netos*. Es decir, el modelo es correcto, una disminución de la calidad deviene en una disminución del beneficio, pero porque disminuiría su *Uso*. Esto lo podemos ver en el Diagrama Causal del modelo de la Figura 44, donde las relaciones propuestas son positivas.

Es decir el Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean presenta tres bucles principales de realimentación positiva<sup>43</sup>. Los que forman los *Beneficios netos* tanto con la *Intención de uso / Uso* como con la *Satisfacción del usuario*, que los hemos representado como A y B respectivamente; y el que forman la *Intención de uso / Uso* con la *Satisfacción del usuario*, que lo hemos representado como C. Los bucles A y B muestran que una vez que el usuario experimenta los *Beneficios netos* del sistema, estará más

<sup>43</sup> Realmente el diagrama esconde dos bucles positivos más: el formado por *Intención de uso / Uso* - *Beneficios netos* - *Satisfacción del usuario* y el formado por *Intención de uso / Uso* - *Satisfacción del usuario* - *Beneficios netos*.

dispuesto a utilizar el nuevo sistema, y también se mostrará más satisfecho con el uso del sistema. Esto coincide con el modelo de Repenning (ver apartado 4.6) que se basa en la idea de que un mayor esfuerzo, un mayor uso, conduce a mejores resultados y mejores resultados aumentan el compromiso y el propio uso.

El bucle C puede parecer más extraño, especialmente la relación positiva entre el *Uso* y la *Satisfacción del usuario*. Esta relación ya existía en el modelo original y la explicación se encuentra en la experiencia. El usuario adquiere experiencia utilizando el sistema, lo que hace que le sea más fácil utilizar el sistema, lo que aumenta la *Satisfacción del usuario*. Este bucle encaja con el Modelo de Aceptación de la Tecnología (ver apartado 4.7) que nos dice que un aumento de la *Facilidad de uso percibida* aumenta la *Intención de uso* al igual que una mayor *Experiencia* también aumenta la *Intención de uso*.

Sin embargo, la traslación del modelo a un Diagrama Causal nos muestra que es un sistema no sostenible que o bien tiende a dispararse el uso y el beneficio, o bien tiende al colapso cuando la calidad no es la esperada. Esta última consecuencia concuerda con la realidad y con lo que expresan DeLone y McLean de que la falta de beneficios positivos conducirá a una disminución del uso y a la posible finalización del sistema [DELO03]. Sin embargo, el crecimiento exponencial como consecuencia del trabajo conjunto de los tres bucles positivos no es acorde con la realidad y nos sugiere que sería necesaria una reformulación del modelo con la inclusión de bucles de realimentación negativos que regulen el sistema.



## **5 Visión general del modelo**

*“Reality is made up of circles but we see straight lines”.*

*-Peter Senge-*

*“It is no coincidence that some of the smallest models are also the most insightful”.*

*-John Morecroft-*

En los siguientes cinco capítulos vamos a describir el modelo que se ha construido siguiendo la metodología que establece la Dinámica de Sistemas. De cara a una mejor comprensión del mismo, vamos a estructurar la explicación del mismo de una manera más funcional en lugar de hacer un despliegue puramente metodológico de la Dinámica de Sistemas. En primer lugar daremos una visión general del modelo (capítulo 5). A continuación describiremos en detalle cada uno de los tres sectores<sup>44</sup> en los que se ha estructurado funcionalmente el modelo (capítulos 6, 7 y 8). Finalmente, el capítulo 9 contiene una visión integrada del modelo y un análisis del mismo.

## **5.1 Identificación del problema y análisis del comportamiento**

El objetivo principal es construir un modelo de Dinámica de Sistemas que simule el comportamiento del proceso de implantación de modelos de gestión universitaria innovadores con el soporte de tecnologías de la información, que además desarrolle una mayor comprensión de las relaciones de causa y efecto del sistema y que ayude a entender y a prevenir las diferentes barreras en su adopción por parte de las personas de la organización. El modelo aumentará la capacidad de los responsables de la gestión universitaria para evaluar las diferentes políticas que afectan a la introducción de nuevos sistemas de gestión y estimular el desarrollo de nuevas y mejores maneras de implantar dichos sistemas.

Este modelo no está diseñado como una herramienta de estimación sino como una herramienta de ayuda a la toma de decisiones. Existe una incompatibilidad en el uso de la Dinámica de Sistemas como herramienta de predicción precisa. La salida de un modelo de Dinámica de Sistemas no se puede evaluar en cuanto a la calidad de su capacidad de predicción sino que el valor en el uso de modelado con Sistema de Dinámica radica en el análisis de los comportamientos de realimentación de un sistema. En este caso, el modelo debe verse como una herramienta de política y de aprendizaje más que una herramienta de estimación directa.

### **5.1.1 Captura del conocimiento experto**

Los esquemas mentales de los principales agentes implicados en el problema es la fuente más valiosa de información porque en ellos se incluye la experiencia, el conocimiento, el juicio, las percepciones y la creatividad de las personas [ALVA98]. Sobre la base de diversas entrevistas con el Responsable

---

<sup>44</sup> Utilizamos el término “sector” en el mismo sentido que lo utiliza Tarek Abdel-Hamid en su libro “*Software Project Dynamics: An Integrated Approach*” [ABDE91].

de Calidad, el personal de la ETSNMN y el personal de otros centros con una problemática potencialmente similar, se obtuvo la base para estructurar el modelo mental que subyace en la percepción del problema.

Como ya hemos indicado en el capítulo 1, la idea de esta tesis surge tras el intento de implantación de un sistema de gestión vía web según el modelo ISO 9001:2000 que se denominó “NautiQ” en la ETSNMN como apoyo a sus sistema de gestión tras el éxito obtenido en noviembre de 2003 al ser el primer centro de educación en obtener la referida certificación ISO 9001:2004 en el proceso clave de enseñanza y aprendizaje. Y aunque se preveía un entorno apropiado, se observó que el uso del sistema desarrollado no era el esperado, en definitiva, la implementación de dicho sistema estaba fracasando. Esto fue una sorpresa porque se sabía que posiblemente surgiría cierta resistencia al cambio de operativa de gestión y que la introducción de técnicas de gestión de calidad en el sector servicios sería más complicada que en el sector industrial, dado que un servicio no era un objeto tangible. Igualmente se tuvo presente que las inversiones en tecnologías de la información tenían impactos organizativos que iban a aumentar la referida resistencia al cambio. Por el contrario, los responsables de la gestión tanto del centro como de la propia universidad compartían que las nuevas tecnologías eran una oportunidad de desarrollar sistemas de gestión orientados hacia la excelencia y que ayudaría a que los centros tendieran a ser una *learning organization*. En consecuencia se realizó un esfuerzo de formación sobre la nueva herramienta informática aprovechando el un marco favorable originado por la obtención del reconocimiento de la certificación ISO 9001:2004 y enfocándolo como una oportunidad de innovación organizacional. Y sin embargo, la implementación de tecnologías informáticas como apoyo a la introducción de sistemas de gestión estratégica avanzados en centros universitarios se había convertido en una barrera [MORL04].

Se estimó que la principal causa era que existía un salto tecnológico que afectaba a una parte significativa de docentes y no docentes de la ETSNMN, ya que existía un grupo de personas que tenían dificultades en el uso del nuevo sistema informático [MORL04]. Igualmente se consideró que la introducción de soluciones web como apoyo a la gestión universitaria, estaba añadiendo complejidad al sistema y en consecuencia, estaba reduciendo la motivación de las personas. De las conversaciones se señalaron inicialmente cuatro barreras significativas: el salto tecnológico, la implicación de los líderes, la falta de formación permanente y la sobrecarga de trabajo, siendo el objetivo principal analizar la influencia de la variable salto tecnológico [MORL05]. Y los trabajos se orientaron hacia el estudio de la relación entre el desarrollo tecnológico y la satisfacción de las personas al introducir un nuevo sistema de gestión de calidad vía web. Se definieron dos variables principales para medir

la salud del sistema que denominaron Nivel de Satisfacción de las Personas y Nivel de Madurez del Sistema de Gestión. Si eran positivas y tenían un crecimiento positivo, nos indicaría que el sistema es sano. Inicialmente se contempló una variable de nivel adicional, el Nivel TI, que representaba el nivel de inversión de la organización en tecnologías de la información (TI), como ayuda para definir el comportamiento del sistema. Esas variables son abstractas, es decir, no tienen unidades reales. Esto es una ventaja cuando estamos fijando el modelo, sin embargo una desventaja a la hora de contrastar los resultados del modelo con realidad [MORL05].

En una segunda fase, tras la revisión de un primer modelo, se estudió la pertinencia de añadir una variable de nivel más, Conocimiento TI que en conjunción con la variable Nivel TI definían la variable auxiliar Salto Tecnológico. Conocimiento TI define la acumulación de conocimientos en sistemas y tecnologías informáticas, bien por su uso o por su aprendizaje formal. Igualmente se ha añadido también al modelo el efecto de una variable exógena, Obsolescencia, para representar la pérdida de dicho conocimiento tecnológico que se produce como consecuencia de la rápida evolución de las tecnologías de la información [MORL06a]. El Nivel TI no se considera que deba ser una variable de nivel, ya que depende de acciones externas y su valor no es fruto de relaciones de realimentación, pero se establece la variable Nivel TI Deseado para especificar los objetivos de aprendizaje necesarios en tecnologías informáticas. También se apunta al proceso de formación y de aprendizaje como el elemento clave para la regulación del salto tecnológico.

De las cuatro barreras consideradas inicialmente, la implicación de los líderes es una variable externa del modelo que permanece constante y que de cara a una mayor simplicidad del modelo se consideró retirarla del mismo. Esto está en consonancia las consideraciones previas del apartado 1.3.1, que suponen que no existen variaciones de las influencias externas. En el capítulo 3 hemos visto que uno de los puntos clave para el éxito de una implementación es el liderazgo, ya que la forma en cómo los líderes enfocan las innovaciones tecnológicas puede influir en cómo se perciban los nuevos sistemas y en favorecer el éxito de la implementación y que en la bibliografía se aprecia que la influencia positiva del liderazgo cada vez se tiene más en cuenta ya que evoluciona desde un 55% hasta un 73% de las últimas referencias. Por lo tanto, con este supuesto no estamos ignorando la importancia que tiene la implicación de los líderes si no todo lo contrario. Partimos de la existencia de un que un liderazgo firme y comprometido que apoya y vigila la sincronización y la coordinación del proceso de implementación, pero que este permanece constante. Consiguientemente, quedan a estudiar las tres barreras siguientes: el salto tecnológico, la formación y la sobrecarga de trabajo.

Por lo tanto, de la fase de captura del conocimiento experto se consideran las siguientes tres variables de nivel principales: Satisfacción de las Personas, Madurez del Sistema de Gestión y Conocimiento TI. Igualmente se consideran dos variables externas: un Impulso Externo y el Nivel TI Deseado que depende de esa acción externa de impulso. La definición concreta del significado de cada una de ellas se realiza en el apartado 5.1.3.

### 5.1.2 División funcional del modelo

Como hemos indicado, para facilitar la lectura del modelo, lo hemos dividido en tres sectores (ver Figura 45) cada uno de los cuales está asociado respectivamente a una de las tres variables clave de nivel: **Madurez** (Madurez del Sistema de Gestión), **satisfacción** (Satisfacción de las Personas) y **Conocimiento TI** (ver apartado 5.1.3).

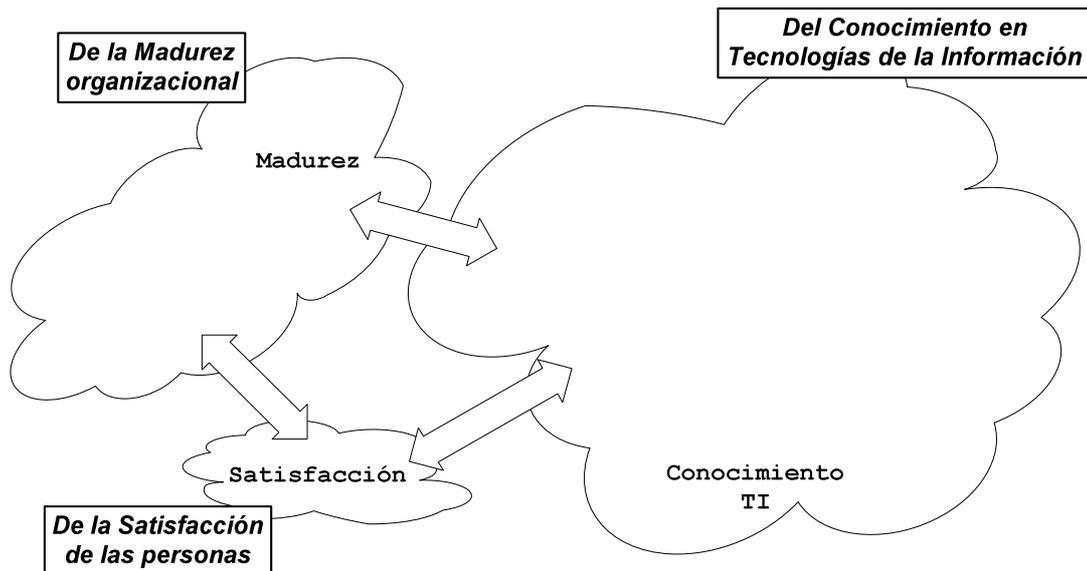


Figura 45. Los tres sectores del modelo.

Los sectores son los siguientes:

- **Sector de la Madurez organizacional.** Esta sección se centra en la madurez del nuevo sistema informático, representada con la variable **Madurez** que muestra el nivel de uso del sistema informático para la gestión estratégica adoptado por una organización, en este caso universitaria. Esta variable es un indicador de la salud del proceso de aceptación del nuevo sistema en la organización; así, un valor positivo y sostenido señala que se están alcanzando los objetivos previstos. Por el contrario, la disminución del uso del sistema indica que está fracasando la adopción del nuevo sistema. Como se verá en el desarrollo posterior, uno de los efectos laterales de la introducción de

una nueva tecnología es que su proceso de adopción y acogida implica un aumento coyuntural de trabajo, lo llamaremos **Sobrecarga de Trabajo**.

- **Sector de la Satisfacción de las personas.** En esta parte se estudia la variable clave que muestra el nivel de motivación de las personas de una organización, la satisfacción de las personas que hemos denominado **satisfacción**. Como se verá, esta variable está influida de diferente manera por las variables **Madurez**, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**, de acuerdo a las propuestas de Frederick Herzberg en su Teoría de los Factores (ver apartado 7.1.1). Por una parte, tanto la **Sobrecarga de Trabajo** como el **Salto Tecnológico** producen insatisfacción obstaculizando a las acciones motivadoras. Y por otra, la **Madurez** es el factor motivador, pero en ausencia de la acción de las otras dos variables desmotivadoras.
- **Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información.** En este apartado se analiza el comportamiento del **salto Tecnológico** sobre la base de la variable de nivel **Conocimiento TI**, cuyo valor variará en función del aprendizaje. El aprendizaje dependerá de la formación y del espíritu crítico. Sin embargo, se podrá ver en el capítulo 8 que los esfuerzos de aprendizaje darán lugar a círculos viciosos de manera que cuanto más se buscará aprender, más sólidas serán las barreras para el aprendizaje. Concretamente, este idealismo tecnológico produce rutinas defensivas que dificultan la actitud crítica ante las nuevas tecnologías y, por ende, su aprendizaje.

Cada sector se expone en tres capítulos separados (capítulos 6, 7 y 8) que mantienen la misma estructura que se corresponde con la propia de metodología de la Dinámica de Sistemas (ver capítulo 2). Para cada uno de los tres sectores describiremos la conceptualización del problema acotada a la propia área y que constituye la hipótesis dinámica o causal. Para ello nos basaremos tanto en la contribución del conocimiento experto (ver apartado 5.1.1) como en las referencias de otros modelos similares analizados (ver capítulos 3, 4) y al marco teórico existente. Igualmente describiremos los comportamientos característicos del sistema, denominados modos de referencia, que muestran la evolución temporal de las variables. Desarrollaremos los submodelos causales asociados a cada sector que constituye propiamente la hipótesis dinámica, lo que significa definir las relaciones entre los distintos elementos que forman el sistema y en el cual se van a observar los bucles de realimentación. La integración de los tres submodelos causales constituye el Diagrama Causal. Por último precisaremos las ecuaciones del Modelo Cuantitativo formal de cada sector a través de los

respectivos subdiagramas de Forrester y serán simulados con Vensim®. Y finalmente verificaremos y validaremos cada sector comprobando el comportamiento previsto en los modos de referencia y realizando los correspondientes análisis de sensibilidad.

### 5.1.3 Límites del modelo e identificación de las variables clave

Los sistemas de realimentación tienen una frontera cerrada en el que se produce el comportamiento objeto de estudio, sin embargo normalmente la frontera no se puede definir explícitamente sino indirectamente especificando las principales variables que influyen, en nuestro caso, en la adopción de sistemas de información para la gestión estratégica de la universidad.

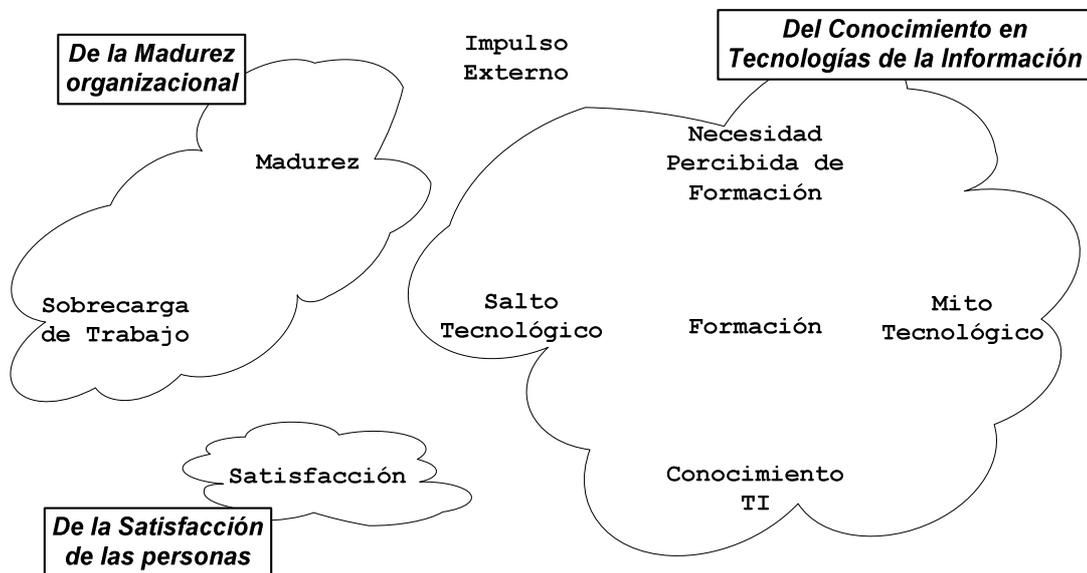


Figura 46. Variables clave del modelo.

En la Figura 46 presentamos las variables clave del modelo que definen los límites del mismo. Estas variables están obtenidas a partir de las consideraciones de los expertos y de las aportaciones principales de los diferentes modelos y marcos teóricos estudiados, así como de una serie de suposiciones que nos acotan el entorno donde se va a desarrollar el modelo y que se describen en detalle en los capítulos 6, 7 y 8.

Los límites del modelo los determinan tres variables de nivel (**Madurez**, **Satisfacción** y **Conocimiento TI**), una variable exógena (**Impulso Externo**) y cinco variables auxiliares (**Sobrecarga de Trabajo**, **Salto Tecnológico**, **Formación**, **Necesidad Percibida de Formación** y **Mito Tecnológico**).

Asociadas a las tres variables de nivel, **-Madurez**, **Satisfacción** y **Conocimiento TI**- hemos definido respectivamente tres magnitudes abstractas que las representamos con las unidades que hemos denominado *MaturUnits*, *SatisfUnits* y *TechUnits*.

La descripción de las variables que delimitan el del modelo es la que sigue:

- **Madurez.** Variable de nivel que define el grado de adopción y uso a nivel organizacional del nuevo sistema informático implementado para la gestión estratégica. Un valor positivo y sostenido señala que se están alcanzando los objetivos previstos. Por el contrario, la disminución indica que está fracasando la adopción y uso del nuevo sistema.

Se mide en *MaturUnits* que oscilará entre los valores 0 y 1000, representado con 1000 *MaturUnits* el máximo nivel de madurez que se estima que pueda alcanzar el sistema.

- **Satisfacción.** Variable de nivel que define el grado de confianza que genera el sistema en las personas de una organización. Si los miembros de la organización están satisfechos, se esforzarán por mejorar sus resultados y se implicarán en la adopción del sistema.

Se mide en *SatisfUnits* que oscilará entre los valores 0 y 1000, representado con 1000 *SatisfUnits* el máximo nivel de satisfacción que se estima que pueda alcanzar una persona. Existe un tipo de unidades análogo en el Modelo del Mundo [MEAD72<sup>45</sup>], donde se utilizan *Satisfaction units* para medir la Calidad de vida (*Quality of life*).

- **Conocimiento TI.** Variable de nivel que define el nivel de competencias y habilidades en tecnologías de la información que poseen los individuos de una organización.

Se mide en *TechUnits* que oscilará entre los valores 0 y 1000, representado con 1000 *TechUnits* el máximo nivel de conocimientos que se estima que pueda alcanzar una persona.

- **Impulso Externo.** Variable exógena que marca el ritmo en que los líderes introducen nuevos sistemas informáticos con gran impacto

---

<sup>45</sup> En 1972, poco antes de la primera crisis del petróleo, fue publicada la obra “*Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*”. La autora principal fue la Dra. Donella Meadows (MIT) con la colaboración de su marido Dennis Meadows y de Jorgen Randers. El trabajo se realizó por encargo del Club de Roma. El informe se basa en la simulación informática de un modelo de Dinámica de Sistemas denominado World3, creado con el objetivo de recrear el crecimiento de la población, el crecimiento económico y el incremento de la huella ecológica de la población sobre la tierra en 100 años, según los datos disponibles hasta la fecha.

organizacional. Se produce ocasionalmente y como fruto de decisiones estratégicas. Es una variable adimensional que se va a simular como un tren de pulsos.

- **Necesidad Percibida de Formación.** Variable auxiliar que combina el nivel de conocimientos en tecnologías informáticas que la organización *a priori* entiende que los individuos deben poseer (que depende de la variable **Impulso Externo**) con la percepción que la organización tiene de las necesidades reales de formación de las personas (**Salto Tecnológico**). Se mide en *TechUnits*.
- **Sobrecarga de Trabajo.** Variable auxiliar que expresa el aumento coyuntural de trabajo y de realización de nuevas actividades necesario para aumentar el nivel de **Madurez**. Se mide en *MaturUnits/t*.
- **Salto Tecnológico.** Variable auxiliar que señala la diferencia entre el **Nivel TI Deseado** y el **Conocimiento TI**. Se mide en *TechUnits*.
- **Formación.** Variable auxiliar que modela la cantidad de actividad de capacitación en tecnologías informáticas a desarrollar para prevenir actitudes defensivas ante la adopción del nuevo sistema. Se mide en *TechUnits*.
- **Mito Tecnológico.** Variable auxiliar que muestra el nivel de idealización del potencial de las tecnologías informáticas como elemento clave para alcanzar los objetivos estratégicos de la organización. Indica el miedo a parecer ignorante y que genera una rutina organizacional defensiva que obstaculiza el aprendizaje al evitar la crítica y dependerá de la variable **Necesidad Percibida de Formación** (ver el apartado 8.1.1). Se mide en *TechUnits*.

## 5.2 Modelo Causal

En esta segunda fase se elabora la hipótesis dinámica, ello implica definir las influencias que se producen entre los elementos que integran el sistema en un Diagrama Causal, teniendo en cuenta que un Diagrama Causal no recoge otras características como información sobre el tiempo de simulación o sobre la naturaleza y magnitud de las variables.

En la Figura 47 podemos ver el Diagrama Causal del modelo presentado en esta tesis. Representamos con trazo más grueso las relaciones que implican algún bucle de realimentación y con trazo más fino las relaciones de origen externo. Igualmente se muestran los seis bucles de realimentación en que se estructura el modelo:

- Bucle 1. Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas.
- Bucle 2. Desmotivación por exceso de trabajo.
- Bucle 3. Reajuste de la Madurez.
- Bucle 4. Reducción del Salto Tecnológico por Formación.
- Bucle 5. Elogio de la tecnología.
- Bucle 6. Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción.

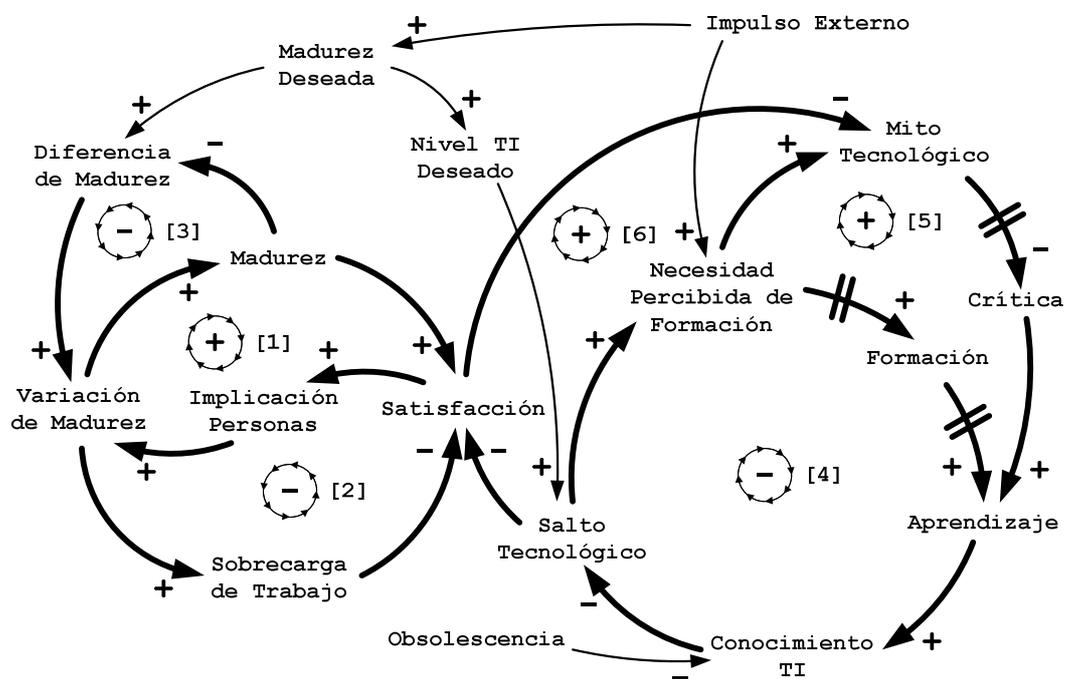


Figura 47. Diagrama Causal y los seis bucles de realimentación.

Los bucles 1 y 5, 6 son bucles de realimentación positiva, es decir, tienden a desestabilizar el comportamiento del sistema, tienden a disparar la salida del sistema. Sin embargo, los bucles 2, 3 y 4 son bucles de realimentación negativa que regulan y equilibran el sistema.

La descripción de los bucles se realizará en los tres capítulos siguientes. En el capítulo 6 se analizan los bucles 1, 2 y 3, y en el capítulo 8 los bucles 4, 5 y 6. En el capítulo 7 se estudia como influyen los bucles 1, 2 y 6 sobre la variable **Satisfacción**.

### 5.3 Modelo Cuantitativo

Como hemos explicado en el capítulo 2, para obtener las ecuaciones matemáticas del modelo se utiliza un Diagrama de Forrester que hace de puente entre la hipótesis dinámica y el Modelo Cuantitativo final. Como hemos señalado en el apartado 1.4, para construir los diferentes diagramas de Forrester y para sus distintas simulaciones hemos utilizado el entorno de simulación dinámica Vensim® de Ventana Systems Inc. Como ya hemos señalado, no es sólo una herramienta de simulación dinámica sino que permite el diseño de diagramas causales, el desarrollo de diagramas de Forrester y la generación de las ecuaciones a partir del Diagrama de Forrester elaborado.

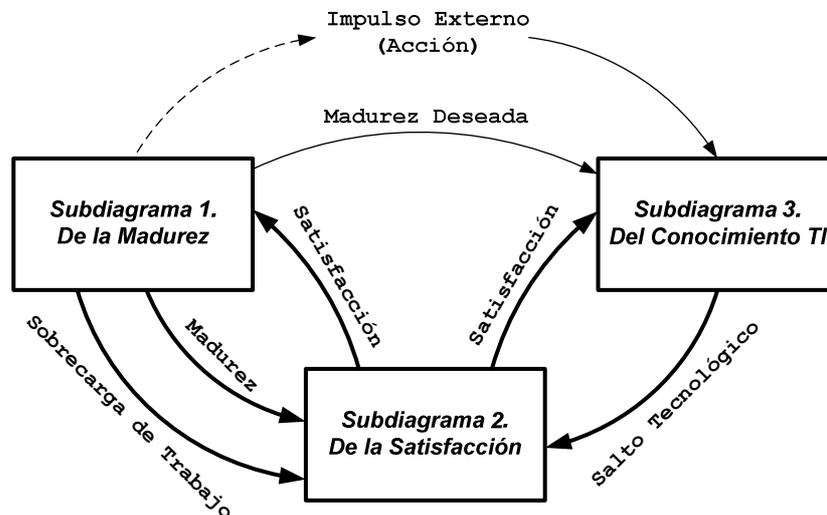


Figura 48. Visión general del Diagrama de Forrester.

El Diagrama de Forrester del modelo de esta tesis, al igual que los tres sectores, lo hemos dividido en tres partes o subdiagramas como se representa en la Figura 48, cada una de ellas está asociada con una de las tres variables de nivel del modelo y los hemos denominado:

- Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez. Define las ecuaciones asociadas a la variable de nivel **Madurez** y su relación con los bucles 1, 2 y 3.
- Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción. Describe el comportamiento de la variable **satisfacción** y su conexión con los bucles en la que está implicada: 1, 2 y 6. Este subdiagrama realiza las funciones de interfaz entre los otros dos subdiagramas.
- Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI. Modela los bucles 4, 5 y 6 que están asociados a la variable de nivel **Conocimiento TI**,

## **5.4 Validación del modelo**

La validación del modelo la vamos a realizar en dos niveles de acuerdo a la metodología explicada en el apartado 2.2.4.2. En una primera fase validaremos por separado la arquitectura de cada uno de los sectores. Es decir, en cada uno de los tres capítulos 6, 7 y 8, realizaremos la validación del comportamiento (reproducción del comportamiento previsto y análisis de sensibilidad) del correspondiente subdiagrama de Forrester. Como hemos indicado en el referido apartado, no se va a detallar cada proceso de verificación porque es elemental con el uso de las funciones *Check Model* y *Units Check* que facilita la aplicación Vensim® PLE Plus.

Una vez generada la confianza sobre la arquitectura de cada sector individual, en el capítulo 9 integraremos los mismos para lo cual deberemos ajustar las interfaces entre los tres subdiagramas y volver a validar la arquitectura del modelo integrado. Tras la validación de la estructura y el comportamiento del modelo integrado procederemos al análisis de escenarios para reforzar la confianza en el modelo para facilitar el proceso de aprendizaje.

Como hemos indicado en el apartado 2.2.4.3 se deja para trabajos posteriores a esta tesis la evaluación del aprendizaje que tiene como objetivo valorar si los usuarios del modelo han obtenido una visión nueva de la estructura del sistema o han aprendido algo nuevo sobre el comportamiento del sistema real. Se diferencian de las demás pruebas porque se centran en aspectos más abstractos del proceso de modelado, no tanto en el ajuste del modelo con el mundo real, sino más bien en la capacidad de influir en la manera en que los usuarios interpretan su entorno. Esta fase de modelado interactúa con un nivel organizacional más global que implica modelos mentales, decisiones y realimentación de resultados. El proceso de aprendizaje es lento e imperfecto porque los experimentos a nivel de la organización tardan mucho tiempo en llevarse a cabo y porque los modelos mentales son resistentes al cambio. Además, la realimentación de los resultados es irregular y difícil de interpretar [MORE07].

## **6 Sector de la Madurez organizacional**

*“Los pueblos débiles y flojos, sin voluntad y sin conciencia, son los que se complacen en ser mal gobernados”.*

*-Jacinto Benavente-*

*“Quien pretenda una felicidad y sabiduría constantes deberá acomodarse a frecuentes cambios”.*

*-Confucio-*

Este sector se enfoca desde una perspectiva organizacional. Gira alrededor de la variable **Madurez** que representa el progreso del sistema de gestión sobre la base del nivel de uso del sistema informático adoptado por la organización. Como hemos apuntado en el capítulo 5, la variable de nivel **Madurez** es un indicador de la robustez del proceso de implementación del nuevo sistema. Un valor positivo indica que se están alcanzando los objetivos previstos, mientras que un valor negativo del uso del sistema indica que está fracasando la adopción del nuevo sistema. En este apartado se analiza el comportamiento de la **sobrecarga de Trabajo** que es la variable auxiliar que recoge los efectos secundarios del aumento coyuntural de trabajo que implica la introducción de una nueva tecnología.

## **6.1 Análisis del comportamiento**

### **6.1.1 Correspondencia teórica del conocimiento experto**

La Madurez del Sistema de Gestión se ha concebido como una variable abstracta que hemos denominado **Madurez**. Cuando se introdujo esta variable durante la fase inicial de captura del modelo mental del experto se planteó el dilema de cómo representarla y medirla. Se observó que se podía estimar de distintas maneras, pero independientemente de posibles medidas cuantitativas, existía una percepción subjetiva de la evolución o mejora de un sistema de gestión.

Como hemos apuntado, con **Madurez** se quiere indicar la disposición con que una organización, fruto de su política y estrategia, tiende a ser una *learning organization* por medio de la adopción de un sistema informático. Las organizaciones adoptan esta visión para adaptarse a un entorno de cambio y para provocar una necesidad de innovación. Los líderes promueven una actitud positiva hacia las tecnologías de la información para crear las condiciones para la adaptación tecnológica. En resumen, esta variable abstracta recoge el grado de adopción a nivel organizacional de sistemas informáticos nuevos para la gestión estratégica.

Por consiguiente, la variable **Madurez** implica el uso del sistema implementado. Así la disminución del uso es un indicador significativo de que los objetivos previstos no se están consiguiendo [DELO03]. El concepto de uso es uno de los factores nucleares de los capítulos 3 y 4. En el capítulo 3 donde hemos revisado las barreras humanas a la implementación de tecnologías de la información, se destaca que uno de los síntomas del fracaso de las implementaciones es el no uso. En el estudio de las referencias a lo largo del tiempo no se aprecian diferencias significativas en cuanto a los

síntomas del fracaso, pero las tendencias generales muestran que el no uso y la resistencia reciben la mayor atención con más del 50% [RIZZ07].

En el capítulo 4 también se puede ver que en los tres modelos de adopción menos generalistas -el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM), el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean (D&M) y el Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning-, un mayor uso produce mejores resultados y que estos mejores resultados aumentan el propio uso. Los tres modelos comparten el uso como indicador del éxito de la implementación de sistemas informáticos innovadores. Tanto TAM como el Modelo D&M contienen variables explícitas, Uso de la tecnología e Intención de uso/Uso respectivamente; mientras que Repenning lo recoge en la variable Resultados que la define como todo aumento de la eficiencia de la organización debido al uso de la innovación.

Otra cuestión a considerar es la evolución en el tiempo de la **Madurez** de un sistema informático para la gestión estratégica en una organización, dado su impacto transversal e innovador en la misma, al igual que en la introducción de cualquier sistema de gestión, puede ocurrir de dos maneras: paulatinamente debido a la mejora continua o bruscamente. Se suele utilizar los términos japoneses introducidos por Masaaki Imai [IMAI86, IMAI97], *Kaizen* y *Kairu*. *Kaizen* se traduce como mejora continua, denota pequeñas mejoras realizadas en el *statu quo*, supone un progreso gradual, lento y a menudo invisible, con efectos que se sienten a largo plazo. *Kairu*<sup>46</sup> significa una mejora drástica como resultado de una inversión más grande en nueva tecnología y equipo, o la introducción de los últimos conceptos administrativos, *know how* y técnicas de producción, excluyendo así los elementos humanos.

En el caso que nos ocupa, la introducción de un nuevo sistema de gestión supone un cambio brusco, estamos hablando de una evolución de tipo *Kairu*. Esto fue confirmado en conversaciones con el experto que, tras analizar los posibles comportamientos, sugirió adecuar el modelo para que su comportamiento fuera de forma de “gráfico de escalones”. Esto nos sugiere que debe existir una variable exógena que establezca los momentos de impulso de estos cambios bruscos una acción externa que denominaremos **Impulso Externo**, porque los cambios bruscos que implican la introducción de una innovación normalmente no surgen de la propia evolución del sistema (esto estaría más relacionado con el *Kaizen*) sino como consecuencias de acciones fruto de la iniciativa de los líderes de la organización.

---

<sup>46</sup> *Kairu* se suele traducir como innovación, esto se justifica por la generosidad polisémica del término innovación. Sin embargo no se corresponde con el concepto de innovación utilizado en esta tesis que se ajusta a la definición más específica utilizada en los textos científicos. *Kairu* debe entenderse mejor como cambio drástico.

Marcie Tyre y Wanda Orlikowski caracterizan la fase inicial que sigue a la introducción de una tecnología nueva en organizaciones como una discontinuidad en lugar de un ajuste suave y continuo del conocimiento existente [TYRE94]. Durante esta fase, los miembros de la organización tienden a ver la tecnología como un elemento extraño que aun busca su lugar, y no como parte de su actividad cotidiana. En su trabajo han encontrado que la adaptación decae drásticamente después de una ráfaga inicial de actividad intensa. Según las autoras referidas, aparecen fuerzas organizacionales como la presión de la producción y la erosión del equipo de trabajo que contribuyen a este rápido descenso. También han encontrado que este descenso de la adaptación no es irreversible, puede que acontecimientos inesperados puedan disparar nuevos impulsos de actividad de adaptación. Estos episodios posteriores, sin embargo también tienen una duración limitada. Esto les ha llevado a proponer que el proceso de adaptación tecnológica es altamente discontinuo. Específicamente, la introducción inicial de tecnología –así como los subsiguientes episodios inesperados- proporcionan una limitada pero valiosa “ventana de oportunidad” para la adaptación y la experimentación [TYRE94].

Una ayuda para entender el proceso de madurez de una organización es el modelo que concibió James G. March el cual entiende que el aprendizaje organizacional es un equilibrio entre la exploración de nuevas alternativas y la explotación de las competencias existentes en la organización [MARC91]. Con su modelo, March introduce dos conceptos, la explotación y la exploración. Una discontinuidad es una fase de exploración encajada entre las operativas cotidianas que explotan el conocimiento existente. La exploración implica investigación, variación, asunción de riesgos, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento, innovación. La explotación, por el contrario, perfeccionamiento, eficiencia productiva, aplicación, ejecución. March subraya que, a menudo y erróneamente, se da por supuesto que los procesos de aprendizaje necesariamente conducen a la mejora organizativa. El requisito fundamental para la adaptación inteligente, se basa en el mantenimiento del equilibrio entre la explotación de todo lo que ya se conoce y la exploración de lo que puede llegarse a conocer.

Como precisan Stephen R. Barley [BARL86] y Claudio Ciborra [CIBO96], la introducción de una nueva tecnología no es en sí mismo una garantía para la exploración. Barley concluye que las tecnologías dependen del entorno. Los procesos específicos en los que se han integrado las tecnologías, determinan en gran medida el resultado de la adaptación tecnológica. En gran parte, la fuerza de los roles institucionalizados determina si se produce o no el aprendizaje como consecuencia de la introducción de una nueva tecnología. Estos resultados implican que cuanto más sólidas e integradas son las prácticas

sociales, más probable será que la tecnología se amolde a las operaciones ya existentes. Por el contrario, cuando las prácticas sociales son débiles, es más probable cambiar como resultado de la introducción de nuevas tecnologías.

A su vez, Ciborra [CIBO96] argumenta que ninguna organización que desee utilizar con éxito el potencial de la integración de nuevas tecnologías en sus actividades, debe dar por sentado que la tecnología recién introducida es algo completamente controlado. La práctica no conduce a otra cosa que a la explotación y al refinamiento continuo del conocimiento existente, y se pierde cierto potencial para el aprendizaje. El potencial del aprendizaje depende principalmente de las actitudes llevadas a cabo por los individuos, los grupos y las organizaciones. Para mantener y beneficiarse de la introducción de nuevas tecnologías, se debe mantener cierta actitud que transmita atención y acogida [CIBO97]. El aprendizaje, por lo tanto, se alcanza si la tecnología se ve como si fuera algo ajeno, más que como algo dado por sentado y controlado.

Por otro lado, Venkatesh y Davis, cuando presentan TAM2 (ver apartado 4.7.2), señalan que la implementación de nuevos sistemas informáticos en un entorno de uso obligatorio, es menos eficaz que la utilización de la influencia social para impulsar los cambios. Sugieren intervenciones prácticas para los resultados, como demostraciones a los usuarios de la efectividad del nuevo sistema para facilitar su aceptación.

Pero este periodo de exploración que caracteriza a la fase inicial de la introducción de una nueva tecnología que hace que incremente, o no, la **Madurez**, origina generalmente un aumento transitorio de trabajo. Las personas se ven obligadas a realizar una serie de actividades o resolver más problemas de los que están acostumbradas. Esta **Sobrecarga de Trabajo** coyuntural, pero necesaria para aumentar el nivel de **Madurez**, genera insatisfacción y pérdida de autoestima, lo que desde el punto de vista laboral provoca la disminución de la motivación en el trabajo [EDEL80, FARB83, MASL97, MASL01, OLIV01, LEIT05].

### 6.1.2 Modos de referencia

En el modo de referencia de la Figura 49, que denominaremos Modo A, se representa el comportamiento de tipo *Kairu* o de “gráfico de escalones” previsto para la variable **Madurez**. Hemos considerado que el ritmo de los pulsos de variable exógena **Impulso Externo** será de un mínimo 5 años porque es un periodo habitual para las revisiones de la política y estrategia de una organización, y este caso estamos considerando que la introducción de un nuevo sistema informático para la gestión responde a una decisión de carácter estratégico.

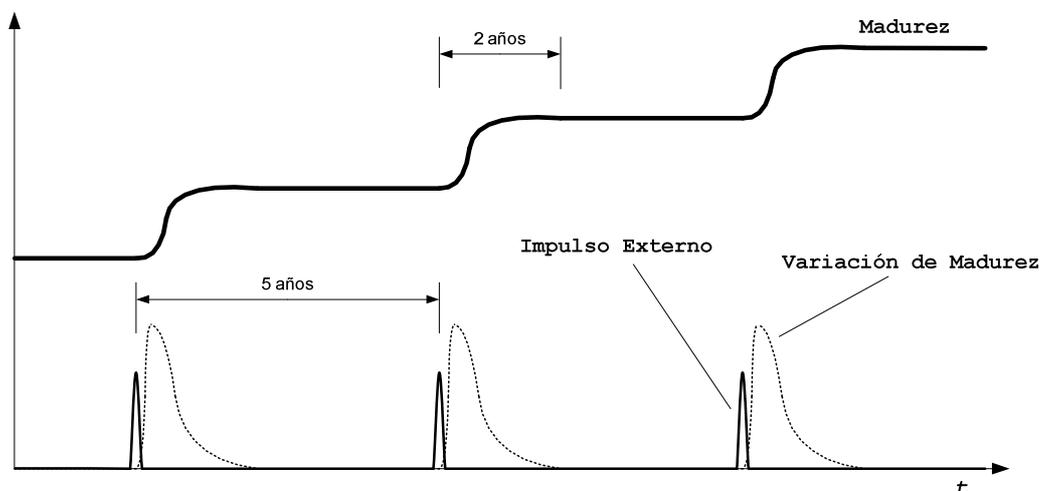


Figura 49. Modo A. Modo de referencia de las variables Madurez e Impulso Externo.

El periodo transitorio para la estabilidad de la **Madurez** se representa con la variable de flujo **Variación de Madurez** que se describirá con más detalle en la descripción de los bucles de realimentación 1 y 3 (apartados 6.2.1 y 6.2.3 respectivamente).

Para estimar la duración de este periodo nos hemos basado en los trabajos publicados por Marcie Tyre y Wanda Orlikowski que estudian en profundidad la fase inicial que sigue a la introducción de una tecnología nueva en organizaciones (ver Figura 2 y Figura 3 en TYRE93 y Figura 1 en TYRE94). Según sus estudios este periodo se puede estimar en 24 meses, aunque con pequeñas réplicas hasta 36 meses. Para nuestra simulación vamos a considerar dos años. El comportamiento previsto para la variable de flujo **Variación de Madurez**, según describen Tyre y Orlikowski, responde a una ráfaga de actividad inicial muy intensa pero después decae drásticamente, que es la “ventana de oportunidad” para la adaptación y la exploración.

## 6.2 Modelo Causal

Como se representa en la Figura 50, los bucles de realimentación que giran en torno a la variable Madurez son los bucles 1, 2 y 3.

### 6.2.1 Bucle 1. Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas

En la Figura 51 podemos ver el primer bucle de realimentación, que es un lazo positivo. Un aumento de la **Madurez** se traduce en un aumento en la **Satisfacción**, debido a que el hecho de que percibir los beneficios del uso del nuevo sistema implementado hace que mejore el sentido de autoeficacia y confianza, lo que produce un refuerzo positivo que provoca un mayor

compromiso a utilizar el mismo, lo que redundará en un aumento del nivel de uso del nuevo sistema informático, de la **Madurez**.

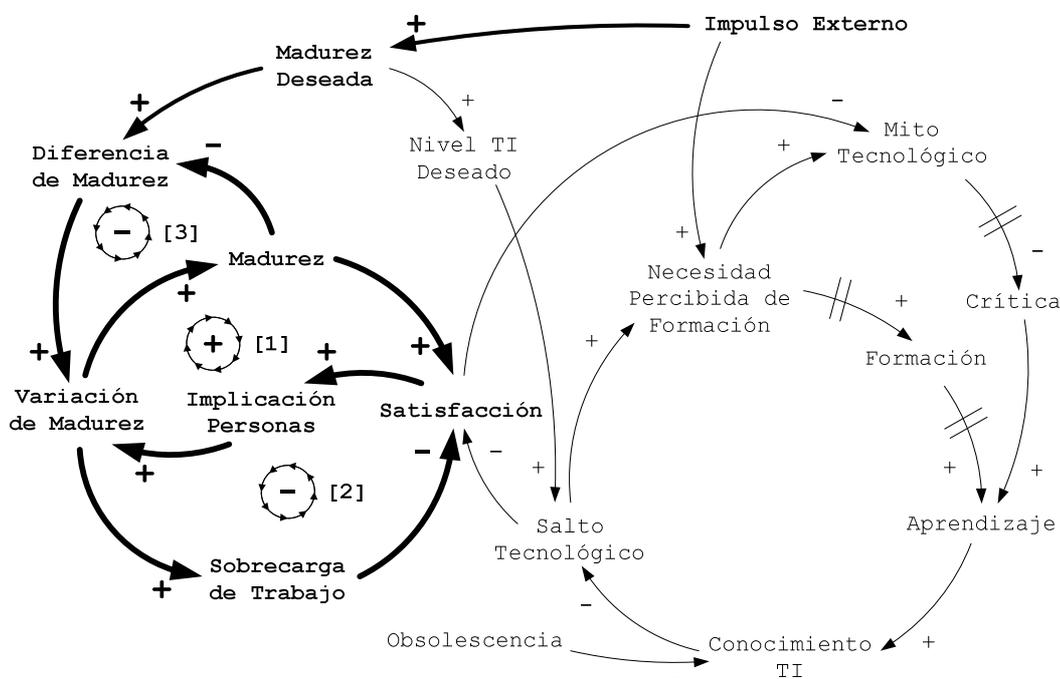


Figura 50. Bucles 1, 2 y 3 del Diagrama Causal.

Para ayudar a entender mejor el significado de este bucle hemos añadido la variable **Implicación Personas**. Por implicación se entiende el estado afectivo-motivacional persistente y positivo del desempeño de las personas que se caracteriza por el vigor, la dedicación y la absorción. Por vigor se entiende los altos niveles de energía y resistencia, la voluntad de invertir esfuerzo en su trabajo, la capacidad de no fatigarse fácilmente y la persistencia ante las dificultades. Dedicación se refiere a una fuerte participación en el trabajo, acompañado por una sensación de entusiasmo y de importancia, y por un sentido de orgullo. Por último, absorción alude a un estado agradable de inmersión total en el trabajo, que se caracteriza porque tiempo pasa rápidamente y no se puede abandonar el trabajo [SCHA01].

Esto implica un trabajo sostenible, la sensación de control, un reconocimiento adecuado, una comunidad de apoyo del trabajo y un trabajo valorado y con sentido. La implicación es la antítesis del síndrome del *burnout* que se recoge en el Bucle 2 (ver apartado 6.2.2). Cuanto mayor es la sintonía entre la persona y el trabajo, mayor será la probabilidad de compromiso con el trabajo. [MASL01].

Este fenómeno tiene un amplio soporte en los modelos estudiados en el capítulo 4. Nelson Repenning en su Modelo Dinámico de Implementación de



motivador siempre que los factores desmotivadores estén desactivados. En definitiva un incremento de la variable **Madurez** se reflejará en un aumento de la **satisfacción**, si están atenuadas las variable higiénicas o desmotivadoras (**Sobrecarga de Trabajo y Salto Tecnológico**).

Con este bucle añadimos dos variables nuevas. Por un lado la ya referida variable auxiliar **Implicación Personas**, que expresa el compromiso de las personas con el sistema debido al aumento de autoeficacia lo que comporta un mayor nivel de uso. Por otro lado hemos incluido la variable de flujo **Variación de Madurez** que representa la evolución en el tiempo de la acción correctora sobre la variable de nivel **Madurez**. Se verá influida directamente por la **Implicación Personas**, de forma que a mayor compromiso, mayor aumento del uso, es decir, de la **Madurez**. La **Variación de Madurez** se medirá en *MaturUnits/t* y la variable **Implicación Personas** será adimensional.

Resumiendo, este bucle de realimentación positiva, “Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas”, representa que un aumento de la **satisfacción** se traduce en un aumento de la **Implicación Personas**, lo que incrementa la **Variación de Madurez** por lo que aumenta la **Madurez**, y en consecuencia se refuerza la **satisfacción** (si no están activas las variable higiénicas o desmotivadoras).

### 6.2.2 Bucle 2. Desmotivación por exceso de trabajo

Este bucle de realimentación negativa recoge el efecto conocido como síndrome del *burnout*<sup>47</sup>. Como hemos reseñado en el apartado 6.1.1, al introducir una nueva tecnología para que tenga un reflejo en el aumento de la **Madurez**, se incrementa coyunturalmente la cantidad de trabajo a realizar. Esta **Sobrecarga de Trabajo** provoca la disminución de la motivación en el trabajo, que es lo que se conoce como síndrome del *burnout*.

Citando a Christina Maslach, *burnout* es el índice de disociación entre lo que las personas son y lo que tienen que hacer. Representa la erosión en los valores, la dignidad, el espíritu y la moral. Se considera una enfermedad que se extiende gradual y continuamente, que sitúa a las personas en una espiral descendente de la cual es difícil salir. Cuando aparece el *burnout* realmente suceden tres cosas: agotamiento crónico, cinismo y desvinculación con el trabajo, lo que genera cada vez más ineficacia en el trabajo [MASL97].

---

<sup>47</sup> Mantenemos el término *burnout* porque es un término habitual en la literatura. El síndrome de *burnout* se suele traducir de diferentes maneras: síndrome del desgaste profesional, síndrome del “estar quemado”, síndrome del “queme”, síndrome de la desesperanza,...

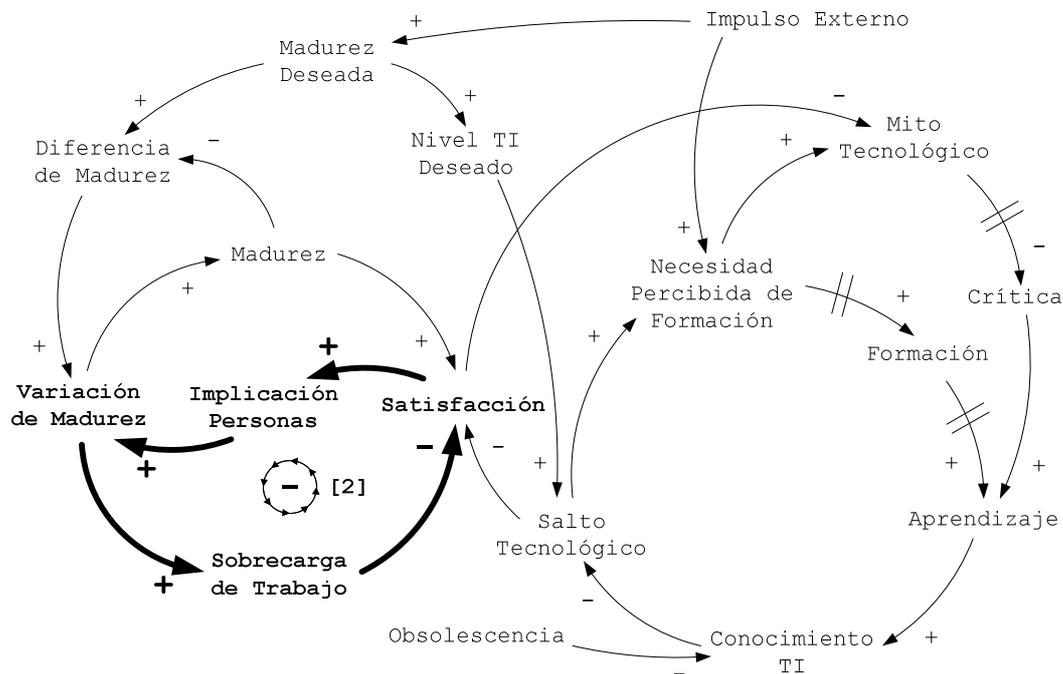


Figura 52 Bucle 2. Desmotivación por exceso de trabajo.

Pero la **sobrecarga de Trabajo** no tiene porque producirse exclusivamente por cuestiones cuantitativas, por un aumento de las horas de trabajo o por un aumento de las tareas a realizar en el mismo intervalo de tiempo. También puede deberse a razones más cualitativas como que las tareas a realizar sobrepasen el conocimiento del individuo, que este no haya sido capacitado o no haya perfeccionado la labor a desarrollar.

La **sobrecarga de Trabajo** genera disminución de la autoestima y sensación de amenaza y de fracaso, lo que provoca el deterioro de la motivación en el trabajo, pudiendo generar un aumento del absentismo laboral. Esta pérdida progresiva de la motivación como resultado de las condiciones del trabajo es lo que produce insatisfacción.

Por lo tanto, la **sobrecarga de Trabajo** se considera un factor desmotivador que disminuye la **satisfacción**. En otras palabras, su causalidad es negativa, a mayor valor de la **sobrecarga de Trabajo**, menor será el valor de la **satisfacción** (mayor insatisfacción).

En la Figura 52 se representa el bucle de realimentación negativa, “Desmotivación por exceso de trabajo”, el cual modela que un aumento de la **Madurez**, **Variación de Madurez**, provoca un incremento de la presión del trabajo, **sobrecarga de Trabajo**, lo que conduce a un descenso de la **satisfacción**. Un descenso en la **satisfacción** producirá un decremento

de la **Implicación Personas** que frenará el aumento de la **Variación de Madurez**, limitando así la evolución de la **Madurez**.

### 6.2.3 Bucle 3. Reajuste de la Madurez

En la Figura 53 se muestra bucle de realimentación negativa que hemos llamado “Reajuste de la Madurez”. Este bucle de regulación se ha construido de acuerdo a la estructura básica de Dinámica de Sistemas que simula el comportamiento denominado Búsqueda de Objetivos (*Goal Seeking*).

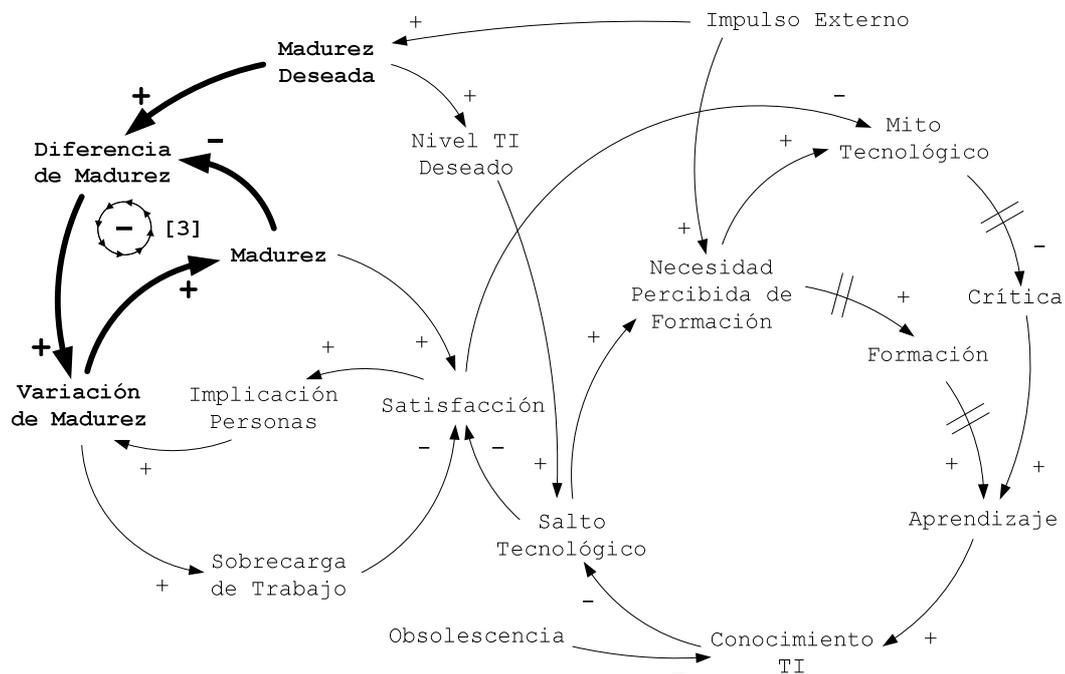


Figura 53. Bucle 3. Reajuste de la Madurez.

Existe una discrepancia entre la **Madurez Deseada** por la organización y el valor actual de la **Madurez** del sistema que la denominamos **Diferencia de Madurez**. Esta **Diferencia de Madurez** provoca una acción correctiva, **Variación de Madurez**, que tira del sistema hacia el objetivo deseado. Es decir, a mayor **Diferencia de Madurez**, mayor será la acción **Variación de Madurez** con lo cual aumentará la **Madurez**, lo que hará que la **Diferencia de Madurez** disminuya, regulándose el sistema a lo largo del tiempo y ajustándose a la **Madurez Deseada**.

El objetivo, **Madurez Deseada**, tendrá incrementos discretos a lo largo del tiempo consecuencia de decisiones de la organización recogidas en la variable exógena **Impulso Externo**. El comportamiento esperado se puede observar en el modo de referencia Modo A mostrado en la Figura 49.

Por tanto, hemos introducido dos variables. La variable exógena **Madurez Deseada** que indica el grado de adopción y uso del nuevo sistema que la organización quiere conseguir. Depende del **Impulso Externo** y se mide en *MaturUnits*. La segunda variable es la **Diferencia de Madurez**. Esta variable auxiliar representa la discrepancia entre la **Madurez Deseada** y la **Madurez** actual, que también se mide en *MaturUnits*. Como hemos reseñado en el bucle 1, la acción correctora de la variable de flujo **Variación de Madurez** estará graduada por la variable **Implicación Personas**.

### 6.3 Diagrama de Forrester

Como hemos explicado en el apartado 5.3, hemos dividido el Diagrama de Forrester del modelo en tres partes o subdiagramas.

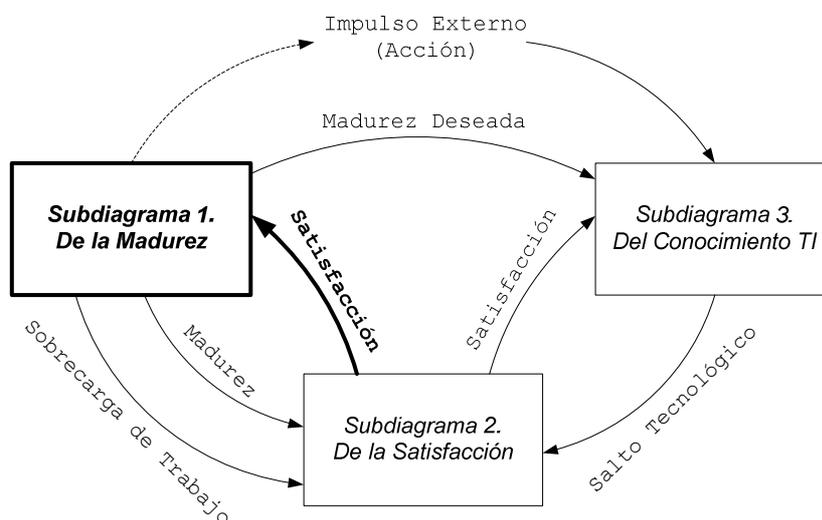


Figura 54. Conexión del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general.

En la Figura 54 se representa el subdiagrama asociado a este capítulo en relación con el resto del diagrama, “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez”, donde se resalta la variable externa al subdiagrama que influye en el mismo, la **satisfacción**. El **Impulso Externo** también es una variable exógena, aunque la hemos incluido en este subdiagrama por una cuestión más bien práctica y así poder simplificar el esquema global.

#### 6.3.1 Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez

Como hemos señalado en el bucle 3 “Reajuste de la Madurez” del Diagrama Causal (apartado 6.2.3), el comportamiento se basa en un arquetipo dinámico básico conocido como *Búsqueda de Objetivos (Goal Seeking)* cuyo traslado a un Diagrama de Forrester es elemental.

Existe una discrepancia entre la **Madurez Deseada** ( $MaturUnits$ ) por la organización y el valor actual de la **Madurez** ( $MaturUnits$ ) del sistema que se denomina **Diferencia de Madurez** ( $MaturUnits$ ), la cual influye positivamente en la variable de flujo de entrada de la variable de nivel **Madurez** que hemos llamado **Variación de Madurez** ( $MaturUnits/t$ ). Esto constituye el núcleo de este subdiagrama que se muestra en la Figura 55.

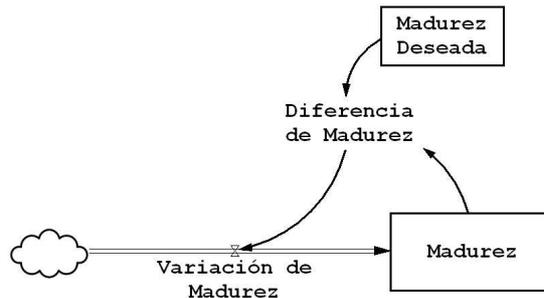


Figura 55. Núcleo del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez.

Es decir, la **Variación de Madurez** es la derivada de la **Madurez** respecto del tiempo:

$$\text{Variación de Madurez}(t) = \frac{d(\text{Madurez}(t))}{dt} \quad [\text{Eq. 6-1}]$$

Lo que en se traduce a la siguiente ecuación dinámica:

$$\text{Madurez} = \text{INTEG}(\text{Variación de Madurez}, \text{Madurez Inicial}) \quad [\text{Eq. 6-2}]$$

Siendo la constante **Madurez Inicial** el valor de la **Madurez** al inicio de la simulación.

La discrepancia **Diferencia de Madurez** viene definida por la ecuación:

$$\text{Diferencia de Madurez} = \text{Madurez Deseada} - \text{Madurez} \quad [\text{Eq. 6-3}]$$

En la Figura 56 vemos el “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez” que completa el núcleo de la Figura 55.

La variable de flujo **Variación de Madurez** se regula con dos coeficientes. La **Tasa de Reajuste de Madurez** (*adimensional*) indica la capacidad de maduración del sistema ante un estímulo de crecimiento. El **Tiempo de Reajuste de Madurez** ( $t$ ) es el tiempo que tarda en aumentar la **Madurez** una unidad de madurez, un  $MaturUnit$ .

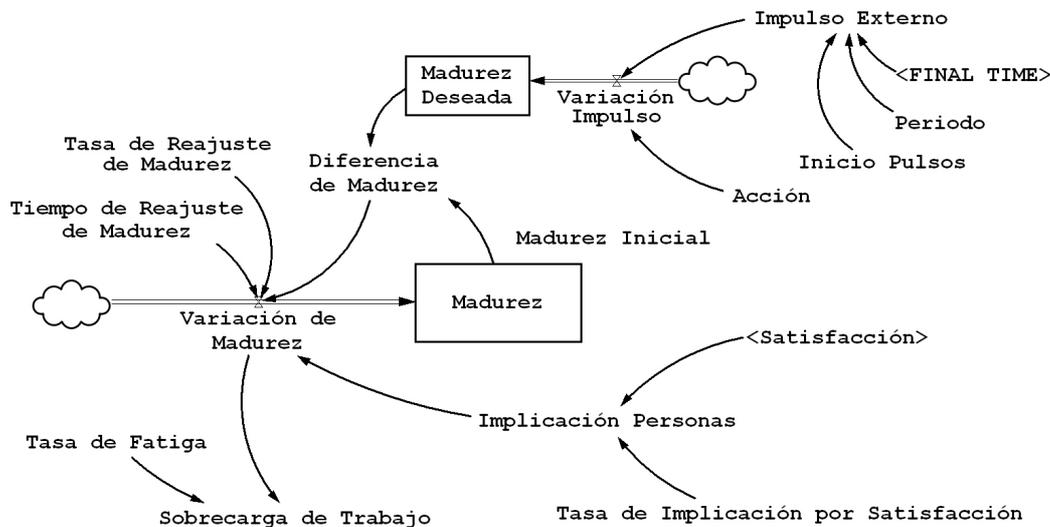


Figura 56. Detalle del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez.

Además como hemos visto en el Bucle 1 “Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas” (ver apartado 6.2.1) la acción de la variable de flujo **Variación de Madurez** estará graduada por la variable auxiliar **Implicación Personas** (*adimensional*) que indica el compromiso adicional de las personas con el nuevo sistema. La hemos definido como:

$$\text{Implicación Personas} = \frac{\text{Satisfacción}}{1000} * \text{Tasa de Implicación por Satisfacción} \quad [\text{Eq. 6-4}]$$

Donde 1000 es el máximo valor que puede tomar la variable **satisfacción**. Es decir, es la relación de la **satisfacción** con respecto al máximo posible (1000 *SatisfUnits*) graduada por el coeficiente **Tasa de Implicación por satisfacción** ( $1/\text{SatisfUnits}$ ) que indica el grado de influencia del sentido de autoeficacia y confianza debido a la **satisfacción**.

Por lo tanto, la **Variación de Madurez** tendrá la siguiente ecuación dinámica:

$$\text{Variación de Madurez} = \text{Implicación Personas} * (\text{Diferencia de Madurez} * \text{Tasa de Reajuste de Madurez} / \text{Tiempo de Reajuste de Madurez}) \quad [\text{Eq. 6-5}]$$

El **Impulso Externo** ( $t^{-1}$ ) lo hemos implementado como un tren de pulsos de amplitud la unidad<sup>48</sup>. Para ello hemos utilizado la función que ofrece

<sup>48</sup> También podíamos haber utilizado una tabla (*lookup table*) para definir el comportamiento de las acciones de impulso de la organización sin tener que fijar un periodo de repetición del pulso. Pero con

Vensim® llamada **PULSE TRAIN** que tiene cuatro argumentos de acuerdo a la siguiente especificación:

$$\mathbf{PULSE\ TRAIN( \{start\} , \{duration\} , \{repeattime\} , \{end\} )}$$

En nuestro caso dejaremos constantes tanto la duración del pulso,  $duration = 1$ , como el final del tren de pulsos que lo establecemos en el momento del final de la simulación,  $end = \mathbf{FINAL\ TIME}^{49}$ . Sin embargo los otros dos argumentos podrán ser parametrizables de la forma  $start = \mathbf{Inicio\ Pulsos}(t)$  y  $repeattime = \mathbf{Periodo}(t)$ . En principio el valor de la variable **Periodo**, siguiendo el modo de referencia Modo A de la Figura 49, será de 60 meses; aunque esto nos permite experimentar con otros valores para la intervención de la organización en el sistema. Por lo tanto, la variable exógena la definimos de la forma:

$$\mathbf{Impulso\ Externo = PULSE\ TRAIN(Inicio\ Pulsos, 1, Periodo, FINAL\ TIME)} \quad [Eq. 6-6]$$

La variable **Madurez Deseada** la hemos definido como una variable de nivel que irá acumulando la acción de maduración, **Acción** ( $MaturUnits$ ), según marque el ritmo los pulsos de la variable exógena **Impulso Externo**. Esta es la misma estructura que la que se emplea en los circuitos digitales secuenciales, que van acumulando valores según les marca los pulsos del reloj. Se podía haber utilizado una función escalón (**STEP**) o una función definida con una tabla de valores (**LOOKUP**), pero al elegir simular la introducción de un sistema con una serie de pulsos necesitamos acumular la **Acción** de estos en la variable. Para ello hemos establecido la correspondiente variable de flujo, **Variación Impulso** ( $MaturUnits/t$ ), por lo que tenemos las siguientes ecuaciones:

$$\mathbf{Madurez\ Deseada = INTEG(Variación\ Impulso, Madurez\ Inicial)} \quad [Eq. 6-7]$$
$$\mathbf{Variación\ Impulso = Acción * Impulso\ Externo} \quad [Eq. 6-8]$$

El comportamiento de las variables **Madurez Deseada** e **Impulso Externo** lo podemos ver en la Figura 57.

---

el tren de pulsos podemos analizar más cómodamente la distancia mínima entre los momentos de introducción de cambios estratégicos.

<sup>49</sup> Vensim® dispone de cuatro parámetros reservados para el control de los tiempos de simulación: **INITIAL TIME** es el instante en el que comienza la simulación. **FINAL TIME** indica el momento en que finaliza la simulación. **TIME STEP** es el periodo para el cálculo de los nuevos valores de las variables del modelo. **SAVEPER** es el intervalo en que se guardan los resultados de la simulación.

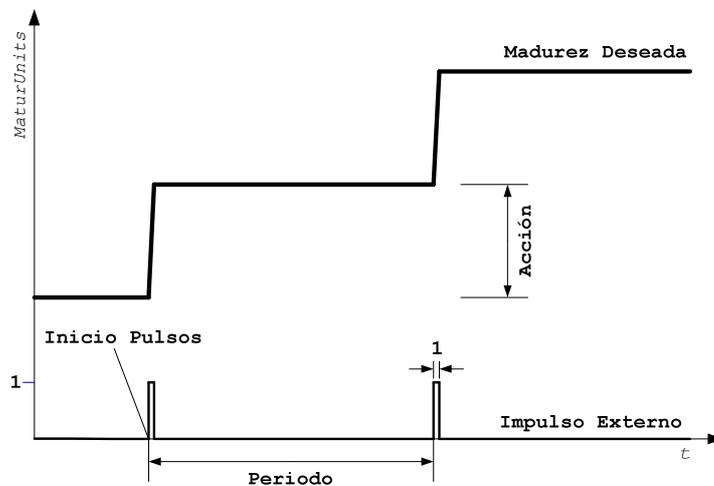


Figura 57. Madurez Deseada e Impulso Externo.

Por último la variable **Sobrecarga de Trabajo** depende directamente de la **Variación de Madurez**, por eso mantiene las unidades de  $MaturUnits/t$ . Durante los periodos estacionarios no es necesario realizar un trabajo extra para regular el nivel de **Madurez**, sólo cuando es preciso aumentar el nivel de **Madurez** de la organización, coyunturalmente, existirá un pico de trabajo que es lo que genera insatisfacción. Por esa misma razón consideramos que no tiene sentido que la **Sobrecarga de Trabajo** sea negativa. Esto querría decir que las personas, en lugar de fatigarse, pasarían a un estado maníaco, a un estado de euforia, por el mero hecho de tener que trabajar menos, lo cual podría suponer un aumento de la implicación del sistema que haría que aumentara el ritmo de trabajo. Esto que formalmente se ajusta al bucle 2 “Desmotivación por exceso de trabajo” (ver apartado 6.2.2), lo desechamos porque entre desmotivación y motivación no existe una relación lineal, como se viene considerando en esta tesis y como se verá en el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción”, del capítulo siguiente. Por tanto, la ecuación para la **Sobrecarga de Trabajo** ( $MaturUnits/t$ ) es:

$$\text{Sobrecarga de Trabajo} = \text{MAX}(\text{Variación de Madurez} \\ * \text{Tasa de Fatiga}, 0) \quad [Eq. 6-9]$$

Donde la **Tasa de Fatiga** (*adimensional*) es la cantidad de cansancio que se produce por unidad de aumento de trabajo extra.

## 6.4 Validación del sector

### 6.4.1 Reproducción del comportamiento previsto

De cara a realizar las simulaciones hemos considerado que la unidad de simulación va a ser el mes (*Month*) y que el periodo de cálculo de los valores de las variables del modelo, el **TIME STEP**, será de 1 (*Month*).

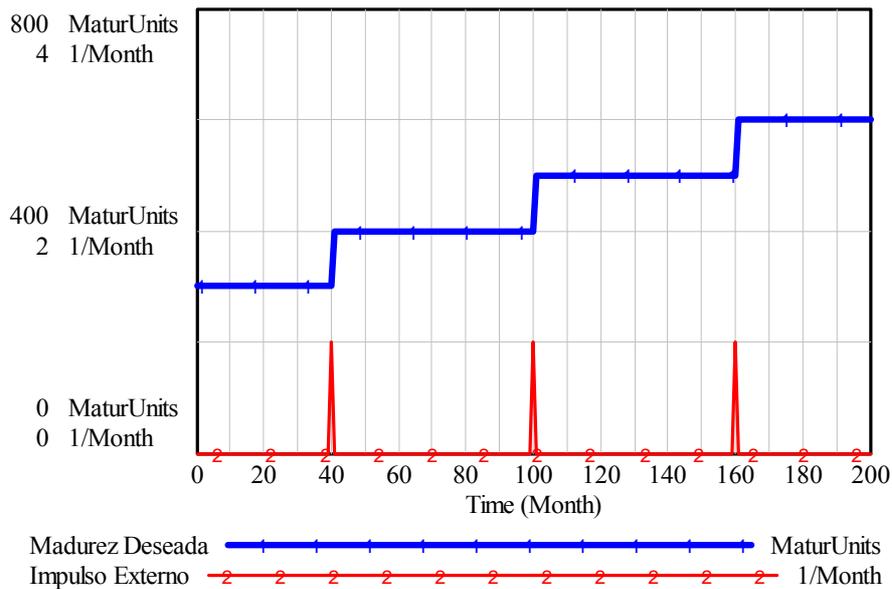


Figura 58. Correspondencia entre *Madurez Deseada* e *Impulso Externo* mostrada en la Figura 57.

Pero antes de comprobar la idoneidad del comportamiento aislado del “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez”, podemos confirmar en la Figura 58 la correspondencia entre las variables **Madurez Deseada** e **Impulso Externo** que hemos definido en la Figura 57.

Para que se observe mejor la relación, hemos fijado un horizonte temporal de 200 meses. Para la variable **Impulso Externo** se ha fijado el argumento **Inicio Pulsos** en 40 (Eq. 6-10), el **Periodo** de repetición en 60 (Eq. 6-11) y, como ya hemos definido en el apartado 6.3.1, la duración del pulso es 1 (*Month*), de forma que la ecuación dinámica asociada sería la mostrada en la Eq. 6-12.

$$\mathbf{Inicio\ Pulsos} = 40 \text{ (Month)} \quad [Eq. 6-10]$$

$$\mathbf{Periodo} = 60 \text{ (Month)} \quad [Eq. 6-11]$$

$$\mathbf{Impulso\ Externo} = \mathbf{PULSE\ TRAIN}(40, 1, 60, 200) \quad [Eq. 6-12]$$

Y asociada a la variable **Madurez Deseada** (Eq. 6-7), que es la integral de la **Variación Impulso** (Eq. 6-8), definimos una **Acción** de 100 (*MaturUnits*).

$$\text{Acción} = 100(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 6-13}]$$

De cara a la simulación consideramos el valor de la **Madurez Inicial** de 300 *MaturUnits* (Eq. 6-14), de forma que en el periodo de 200 meses se accionarán tres pulsos de 100 *MaturUnits*, por lo que la **Madurez** deberá alcanzar un valor de 600 *MaturUnits*.

$$\text{Madurez Inicial} = 300(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 6-14}]$$

Con estos valores, en la Figura 59 podemos cotejar el comportamiento del “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez” con el modo de referencia definido en el apartado 6.1.2.

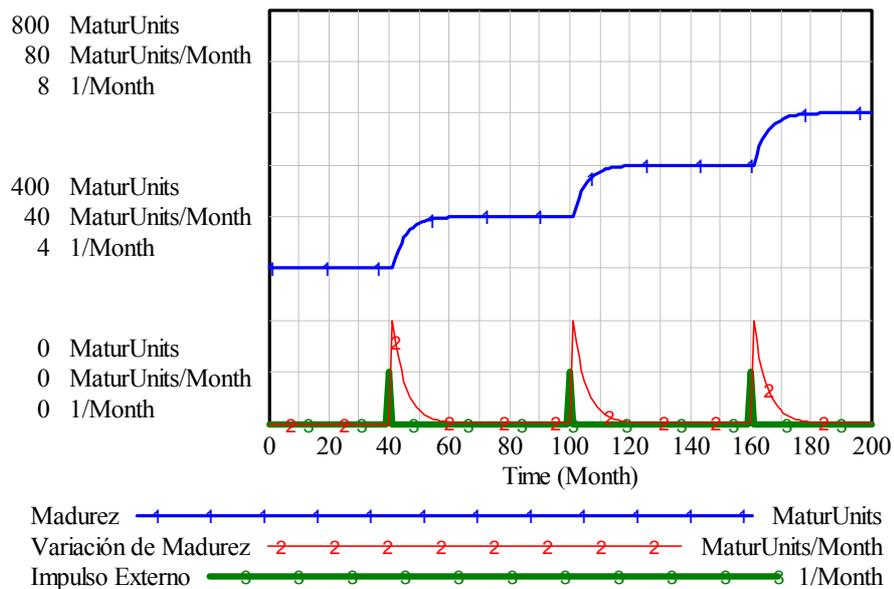


Figura 59. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49).

Para ello hemos considerado una entrada constante de la variable de nivel **satisfacción** procedente del “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” de la forma:

$$\text{Satisfacción} = 300(\text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 6-15}]$$

Como hemos adelantado en el apartado anterior, de cara a conseguir una ventana de actividad de 24 meses los valores de los siguientes coeficientes conviene que estén ajustados de la forma:

$$\text{Tasa de Implicación por Satisfacción} = 2(1/\text{SatisfUnits}) \text{ [Eq. 6-16]}$$

$$\text{Tasa de Reajuste de Madurez} = 1(\text{adimensional}) \text{ [Eq. 6-17]}$$

$$\text{Tiempo de Reajuste de Madurez} = 3(\text{Month}) \text{ [Eq. 6-18]}$$

Quedaría por estimar los límites un cuarto coeficiente, la **Tasa de Fatiga** (*adimensional*). Este coeficiente regula el comportamiento de la variable **Sobrecarga de Trabajo** (*MaturUnits/Month*) en función de la **Variación de Madurez** (*MaturUnits/Month*). Como la **Sobrecarga de Trabajo** es una variable que hace de interfaz entre este “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez” y el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” (Figura 54), no podremos ajustarla hasta que integremos el modelo en capítulo 9 (ver apartado 9.1.2).

En cualquier caso, podemos estimar un rango de valores entre los que se puede mover la **Sobrecarga de Trabajo** en función de diferentes valores de la **Tasa de Fatiga**.

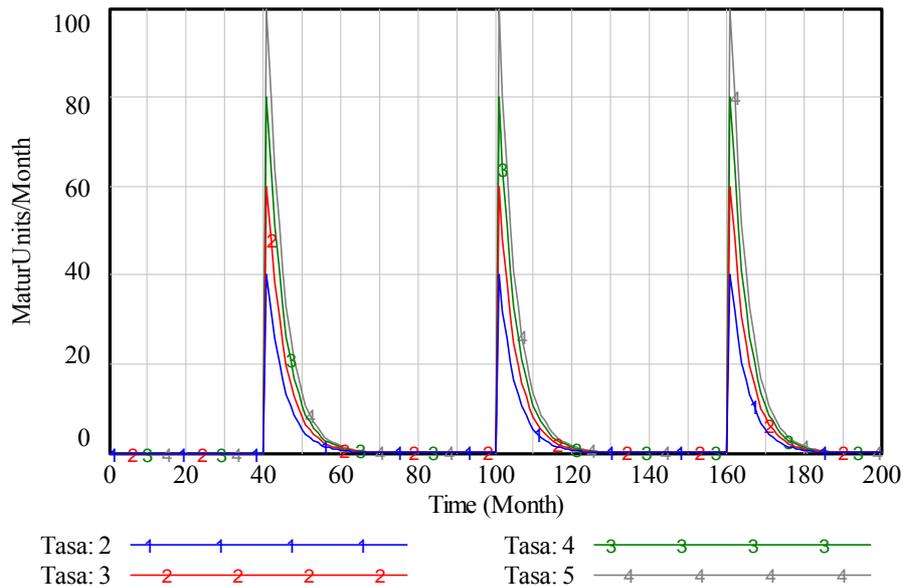


Figura 60. Simulación del comportamiento de la Sobrecarga de Trabajo para cuatro diferentes valores de la Tasa de Fatiga: 2, 3, 4 y 5.

En la Figura 60 se presentan cuatro respuestas de la variable **Sobrecarga de Trabajo** para las mismas condiciones en que acabamos de realizar la validación del modo de referencia. Hemos realizado cuatro simulaciones para cuatro valores diferentes de la **Tasa de Fatiga** (*adimensional*): 2, 3, 4 y 5. Se puede observar que para una **Tasa de Fatiga** de 2, el máximo de la variable es 40 (*MaturUnits/Month*), para un valor de la **Tasa de Fatiga** la 3,

la respuesta alcanza un valor de 60, para una **Tasa de Fatiga** de 4, el pico es de 80, y con una **Tasa de Fatiga** de 5, se llega a los 100 (el mismo valor que la **Acción**).

En los cuatro casos la “ventana de oportunidad” es de 24 meses, dado que la **Sobrecarga de Trabajo** depende directamente de la variable de flujo **Variación de Madurez**. Y la **Tasa de Fatiga** influye en la magnitud de la **Sobrecarga de Trabajo** que influye como factor higiénico o desmotivador sobre la variable **satisfacción** como se verá en el capítulo siguiente.

#### 6.4.2 Análisis de sensibilidad

En este apartado se muestran los resultados del análisis de sensibilidad multivariante con el método Monte Carlo que ofrece la aplicación Vensim® PLE Plus. Con criterio general realizaremos 1000 simulaciones con una distribución uniforme aleatoria (**RANDOM\_UNIFORM**) que es la recomendada para la mayoría de los análisis, salvo que concurra alguna circunstancia que sugiera otra distribución.

Para ello vamos a partir de las mismas condiciones de las variables exógenas al “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez”: **Inicio Pulsos** (Eq. 6-10), **Periodo** (Eq. 6-11), **Acción** (Eq. 6-13), **Madurez Inicial** (Eq. 6-14) y **Satisfacción** (Eq. 6-15). Y aunque no influye en el análisis posterior, hemos considerado el siguiente valor para la **Tasa de Fatiga**:

$$\text{Tasa de Fatiga} = 4(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 6-19}]$$

Los tres parámetros que influyen en la respuesta de la variable de nivel **Madurez** y de la variable de flujo **Variación de Madurez** son la **Tasa de Implicación por Satisfacción**, la **Tasa de Reajuste de Madurez** y el **Tiempo de Reajuste de Madurez**, para los cuales hemos asignado unos valores determinados (Eq. 6-16, Eq. 6-17 y Eq. 6-18) para obtener una “ventana de oportunidad” de 24 meses. En primer lugar vamos a realizar un análisis de sensibilidad de las variables **Madurez** y **Variación de Madurez** en función de estos tres parámetros, sobre la base de los valores estipulados y con una variación del 25%.

En la Figura 61 y en la Figura 62 podemos ver el resultado del análisis de sensibilidad multivariante de las variables **Madurez** y **Variación de Madurez**, en función de la **Tasa de Implicación por Satisfacción**, con un rango que varía un 25% sobre el valor 2 ( $1/\text{SatisfUnits}$ ), {1.5, 2.5}.

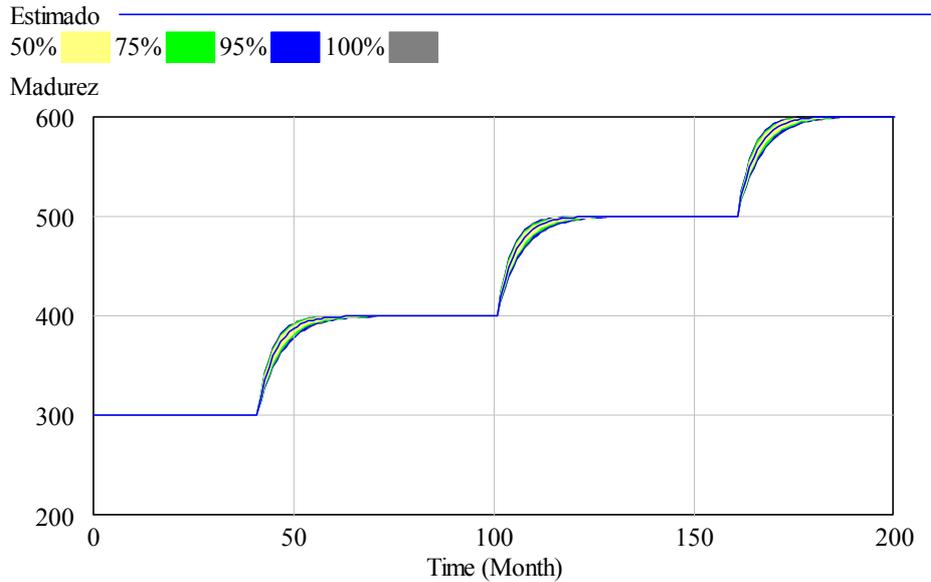


Figura 61. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en relación a la Tasa de Implicación por Satisfacción con un valor estimado de 2 ( $1/SatisfUnits$ ) en el rango  $\{1.5, 2.5\}$ .

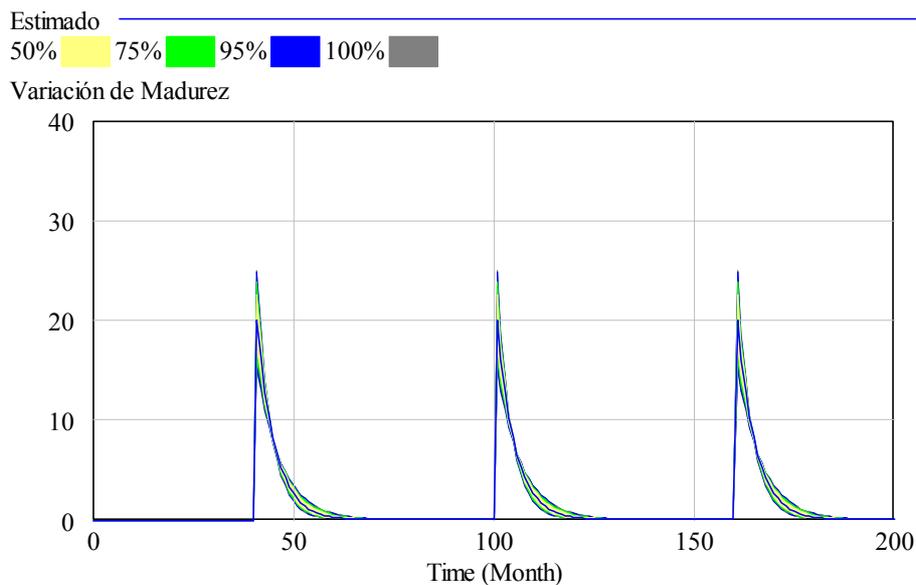


Figura 62. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Implicación por Satisfacción con un valor estimado de 2 ( $1/SatisfUnits$ ) en el rango  $\{1.5, 2.5\}$ .

Las franjas de color amarillo pálido indican el rango de valores donde pueden encontrarse el 50% de los resultados de la simulación, las franjas verdes el 75% de los resultados y las franjas azules el 95%.

Podemos comprobar en la Figura 63 que el grado de confianza del subsistema entorno a un rango del 25% de valores,  $\{0.75, 1.25\}$ , sobre el valor estimado de la **Tasa de Reajuste de Madurez, 1** (*adimensional*), es similar al de la **Tasa de Implicación por Satisfacción**.

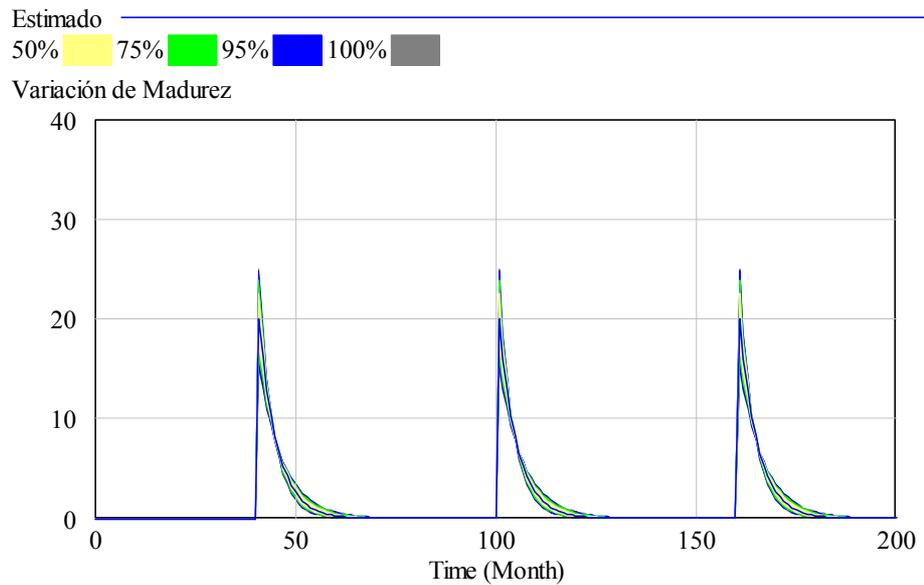


Figura 63. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 1 (adimensional) en el rango {0.75, 1.25}.

Y de la misma manera, el Subdiagrama 1 mantiene el mismo grado de incertidumbre con respecto a los otros dos parámetros, para el **Tiempo de Reajuste de Madurez**, con el mismo rango del 25% sobre el valor estimado de 3 (Month), {2.25, 3.75}, como se puede observar en la Figura 64.

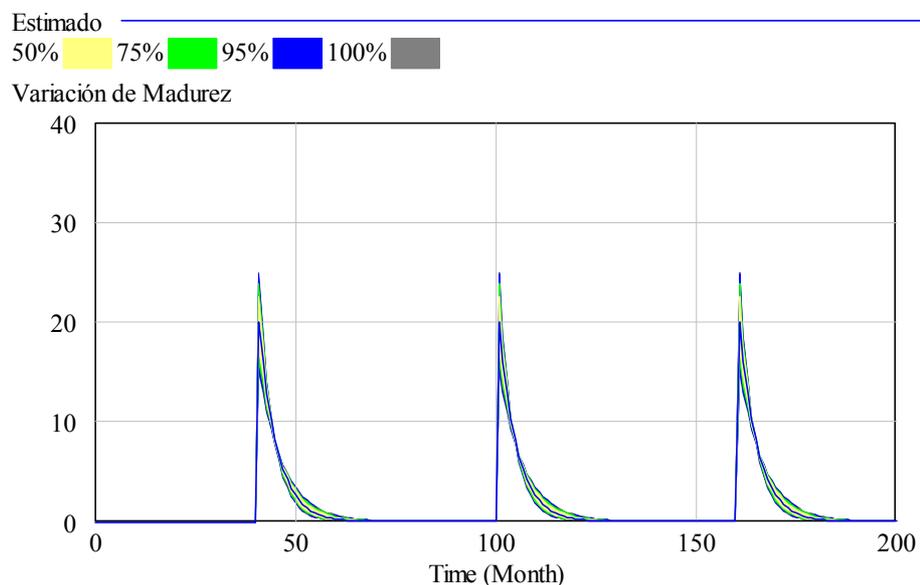


Figura 64. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (Month) en el rango {2.25, 3.75}.

Los resultados de la simulación de la sensibilidad no difieren sustancialmente para el caso de un espectro de valores que oscilan un 25%, por lo que el nivel de incertidumbre puede considerarse aceptable.

Sin embargo, se puede comprobar que para un espectro de valores mayores, por ejemplo para el caso de un 50%, el sistema es más sensible al parámetro **Tiempo de Reajuste de Madurez**. En la Figura 65 podemos ver la respuesta del análisis Monte Carlo para este caso, es decir para un rango de valores del 50%, {1.5, 4.5}.

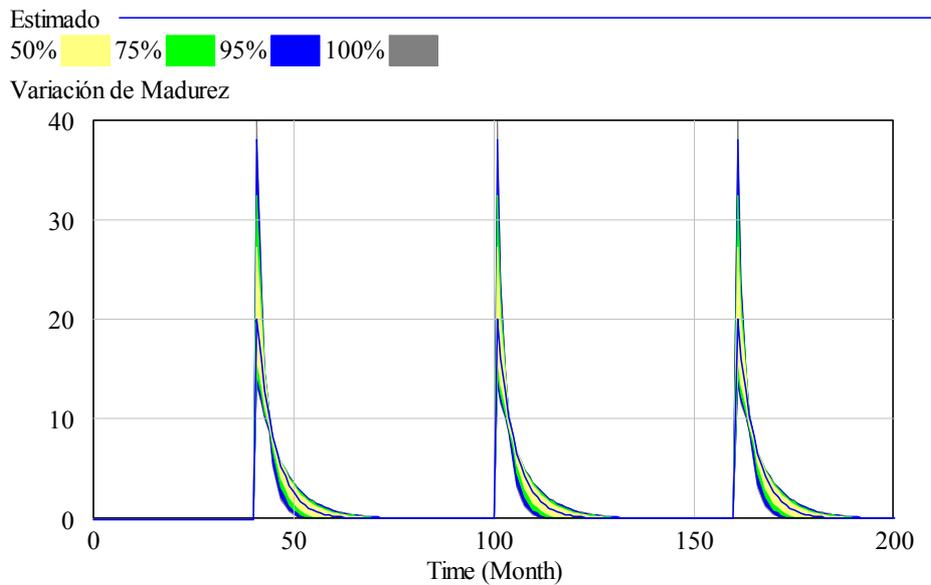


Figura 65. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (Month) en el rango {1.5, 4.5}.

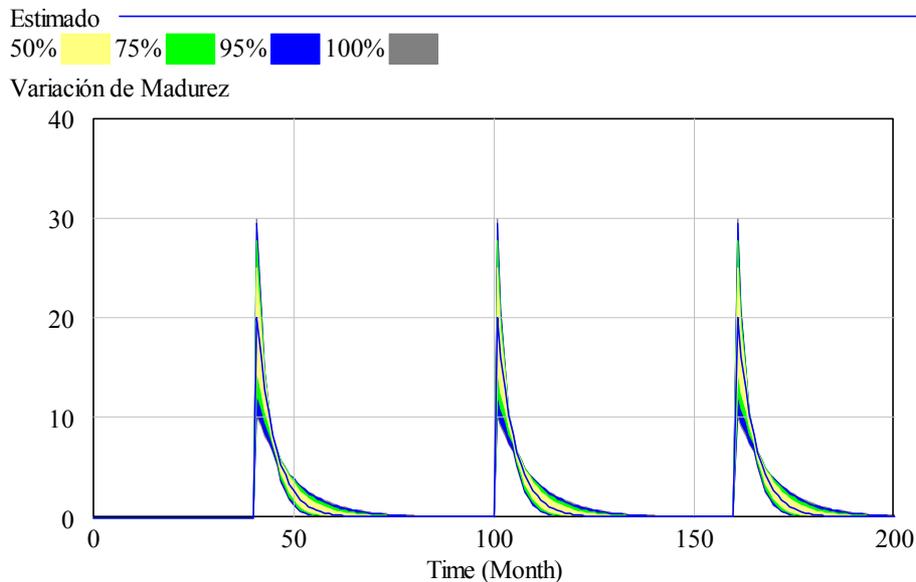


Figura 66. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 1 (adimensional) en el rango {0.5, 1.5}.

Esta respuesta la podemos comparar con la asociada a un rango del 50% sobre la base de la variable **Tasa de Reajuste de Madurez**, {0.5, 1.5}, que se

muestra en la Figura 66 (este comportamiento es análogo para las mismas condiciones entorno a la **Tasa de Implicación por Satisfacción**). En ambas figuras se observa que la incertidumbre de la “ventana de oportunidad” es similar. Sin embargo, la velocidad inicial de aumento de la **Madurez** es mayor para el caso del **Tiempo de Reajuste de Madurez**, que alcanza un máximo de  $40 \text{ MaturUnits/Month}$  (Figura 65), frente a los  $30 \text{ MaturUnits/Month}$  que alcanza la **Tasa de Implicación por Satisfacción** (Figura 66).

En la Figura 67 se muestra el espectro de posibles trayectorias que resultan del análisis de sensibilidad multivariante de los dos coeficientes que inciden directamente sobre la variable de flujo **Variación de Madurez**: **Tasa de Reajuste de Madurez** y **Tiempo de Reajuste de Madurez**, en las mismas condiciones iniciales de sendos rangos de valores del 25%.

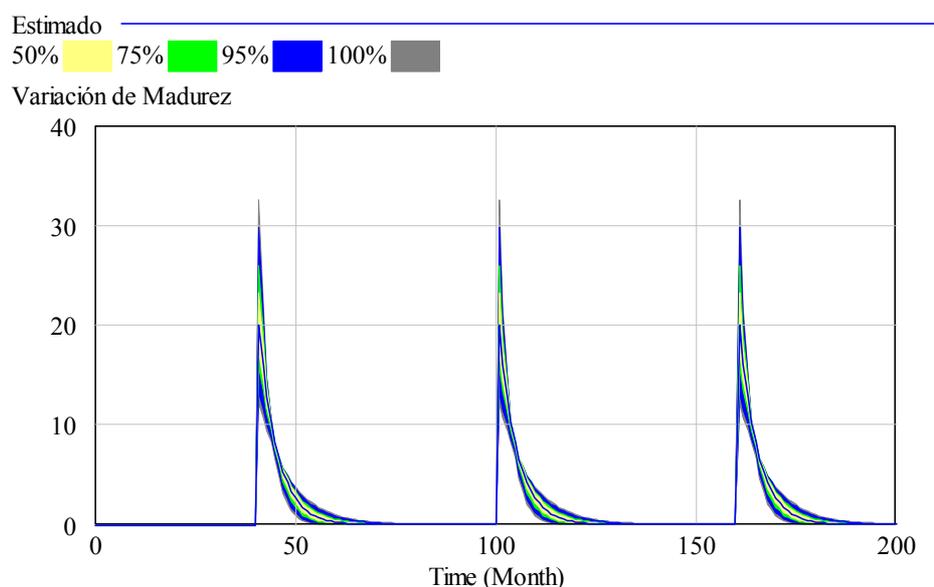


Figura 67. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez y al Tiempo de Reajuste de Madurez con sendos rangos de valores del 25%.

Se puede comprobar que, como era de esperar, la incertidumbre es mayor que en el caso de basarse en parámetros individuales (Figura 62, Figura 63 y Figura 64). Sin embargo, tiene un margen de confianza mayor que en el caso del **Tiempo de Reajuste de Madurez** individual con un rango del 50% (Figura 65).

## 6.5 Conclusión

Este Subdiagrama recoge la dialéctica entre la realimentación positiva fruto del propio uso de la tecnología y la realimentación negativa consecuencia del aumento coyuntural del esfuerzo de implantación. El comportamiento de este

sector lo caracteriza la variable de nivel **Madurez** que representa la evolución del sistema de gestión según el uso del sistema informático adoptado por la organización. Como hemos estudiado en el capítulo 4 un mayor uso produce mejores resultados y que estos mejores resultados aumentan el propio uso (Modelo de Aceptación de la Tecnología, Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean y Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning).

Sin embargo, como explican Tyre y Orlikowski, la fase inicial de la implantación de nuevas tecnologías es una discontinuidad muy intensa pero que decae drásticamente en lugar de ser un ajuste suave y continuo, lo que las autoras destacan como una “ventana de oportunidad” para la exploración. Esto genera una **Sobrecarga de Trabajo** transitoria que es un factor desmotivador que produce insatisfacción y pérdida de autoestima, lo que se conoce como síndrome del *burnout*.

El grado de confianza del sector sobre la base de los valores estimados de los coeficientes **Tasa de Implicación por Satisfacción**, **Tasa de Reajuste de Madurez** y **Tiempo de Reajuste de Madurez** (Eq. 6-16, Eq. 6-17 y Eq. 6-18), para conseguir una “ventana de oportunidad” de 24 meses con un rango de valores que fluctúe un 25%, es razonable. Si bien, se percibe una mayor sensibilidad hacia el parámetro **Tiempo de Reajuste de Madurez**.



## 7 Sector de la Satisfacción de las personas

*“I do not try to dance better than anyone else. I only try to dance better than myself”.*

*-Mikhail Baryshnikov-*

*“La orquesta la armé en el 39. Me acuerdo que al poco tiempo ya tenía bailarines que me seguían y gritaban, ‘¡Ese, ese, ese, la barra de Pugliese!’ Me gustaba pero yo me decía ‘Quedate ahí Osvaldo, no te agrandés, no fanfarroneés’”.*

*-Osvaldo Pugliese-*

Este capítulo gira en torno a la satisfacción de las personas dentro de la organización. Este sector se encuentra en la intersección de los sectores relacionados con la madurez organizacional y el conocimiento que las personas poseen sobre tecnologías informáticas. El comportamiento de la variable nuclear **satisfacción** se comporta de acuerdo a la Teoría de los Factores de Frederick Herzberg (ver apartado 7.1.1). El valor de esta variable depende de las variables **Madurez**, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**. La **Sobrecarga de Trabajo** y el **Salto Tecnológico** influyen negativamente generando insatisfacción y bloqueando a las acciones motivadoras; a su vez, la **Madurez** ejerce una influencia positiva generando motivación pero cuando no está presente la acción de alguna de las otras dos variables. A su vez la **satisfacción** influye positivamente tanto en la **Madurez**, a través de la **Implicación Personas**, como en el **Conocimiento TI**, limitando la variable **Mito Tecnológico** (ver capítulo 8).

## **7.1 Análisis del comportamiento**

### **7.1.1 Resumen del marco teórico relativo a la motivación**

El concepto de motivación y su relación con el desempeño y la satisfacción de las personas, así como con la productividad, son cuestiones básicas cuando se analizan las organizaciones. De cara a entender el presente capítulo, conviene distinguir los conceptos de satisfacción y motivación. La definición de motivación no es trivial pero, al nivel en que nos movemos en esta tesis, entendemos por motivación como el proceso dinámico que mueve<sup>50</sup> a la persona a realizar y/o persistir en determinadas acciones. La satisfacción, por su parte, es la actitud que surge como consecuencia de las acciones, marca la culminación de una necesidad. Dicho de otro modo, la motivación es anterior al resultado y la satisfacción es posterior.

No hay que suponer que una persona motivada siempre es un individuo cuyo rendimiento es elevado. Para que un nivel alto de motivación se materialice en una mejora del desempeño es necesaria la conjunción de algunas circunstancias adicionales que, para explicarlo, en Psicología se manejan dos conceptos que conviene tener presentes: la autoeficacia y la autoestima.

- La autoeficacia se puede definir como los niveles de confianza que los individuos tienen en su capacidad para ejecutar ciertas acciones o en lograr resultados específicos [BAND77a, BAND77b, BAND86, BAND97]. Existen numerosas referencias e investigaciones que respaldan la relación positiva entre la autoeficacia y el rendimiento.

---

<sup>50</sup> El término motivación viene de la locución latina *motus*, participio de *movere* que significa mover.

- La autoestima se refiere al sentido de valoración positiva de uno mismo, al grado en que las personas se aprecian a sí mismos. Es una percepción afectiva o emocional de uno mismo. Se admite que puede estar influida por factores externos, por cómo se compare uno con otras personas o por las opiniones de los demás.

La autoestima y la autoeficacia son diferentes. La autoeficacia está relacionada con las capacidades para ejecutar tareas específicas, cuyos resultados pueden o no tener ninguna incidencia en la autoestima. Así, si una persona tiene altos niveles de autoeficacia en las tareas dentro de una profesión en la que ha invertido mucha autoestima, entonces habrá una probable correlación positiva entre la autoestima y la autoeficacia. Cuando no se invierte mucha autoestima es poco probable que exista dicha relación. Como señala Bandura “gustarse a sí mismo no produce necesariamente un rendimiento mayor” [BAND97].

La motivación, en general, es un fenómeno complejo por la variedad de formas en que se expresa y se combina para producir una determinada conducta. El proceso motivacional puede ser visto como un ciclo que va desde la conciencia de una necesidad hasta el logro de los incentivos que la satisfacen. Entre la motivación y otras variables, como la propia satisfacción o el desempeño, hay una red de conexiones realimentadas, contrarias a las meras influencias deterministas que a veces se presumen.

Existen diferentes teorías que proponen una explicación del proceso de la motivación. A algunas se las considera complementarias, pero otras son incompatibles. Como se puede intuir, la complejidad aumenta cuando se intenta explicar este proceso, por lo que el objetivo no es profundizar en ellas, sino reseñar aquellas que constituyen el marco de referencia para el sector que estamos analizando, mostrando la variedad e interés de los distintos enfoques. Por lo tanto en este apartado recogemos a modo de compendio algunas de las principales teorías y aportaciones relacionadas sobre la motivación pero siendo conscientes de que no se mencionan algunas de ellas. Debe entenderse como una simple orientación, un aperitivo que pueda estimular una mayor profundización como complemento a este trabajo.

### **Jerarquía de Necesidades de Abraham Maslow**

También conocida como Pirámide de Maslow, es la teoría más clásica y popular. Fue desarrollada entre 1943 y 1954, año en que se publicó su libro “*Motivation and Personality*” [MASL54]. Es el primer intento de clasificar las motivaciones humanas y comprender su incidencia sobre la conducta; y sigue considerándose válida para entender la motivación humana, la formación en gestión y el desarrollo personal.

Maslow parte del supuesto de que el ser humano actúa por necesidades. Su teoría sostiene que la persona está en permanente estado de motivación, y que a medida que se satisface una necesidad, surge otra en su lugar. Identificó cinco niveles de necesidades dispuestos en una estructura piramidal, en las que las necesidades primarias se encuentran en la base y las superiores en la cúspide. Estas son:

- Necesidades fisiológicas. Son la primera prioridad ya que tienden a garantizar la supervivencia del individuo y de la especie. Dentro de éstas encontramos la sed, el hambre, la temperatura corporal, el sueño o el sexo.
- Necesidades de seguridad. Con su satisfacción se busca la creación y mantenimiento de un estado de orden y seguridad en nuestro entorno. Se relacionan con el temor a perder el control y están asociadas al miedo a lo desconocido.
- Necesidades sociales o de pertenencia. Están relacionadas con la necesidad de manifestar y recibir afecto y la de participación social, como la necesidad de comunicarse, de amistad, de vivir en comunidad, de sentirse aceptado en un grupo.
- Necesidades de reconocimiento. La necesidad de estimación propia y de los demás. Por un lado se encuentran las necesidades de autoestima y de respeto a sí mismo, y por otro las de sentirse apreciado y respetado, de tener prestigio, de *status* o de admiración. Se satisfacen cuando aumenta la iniciativa, la autonomía y o la responsabilidad.
- Necesidades de autorrealización. La necesidad de desarrollo pleno de la personalidad, de lograr sus aspiraciones personales y de alcanzar su sistema de valores. La necesidad de trascender y de realizar su propia obra. Está relacionado con la competitividad y la cultura del éxito.

La clave de su teoría es la interpretación de la pirámide: únicamente cuando una persona logra satisfacer las necesidades inferiores, se activan las necesidades superiores, y con esto la motivación para poder satisfacerlas. Es decir, sólo las necesidades no satisfechas influyen en el comportamiento de las personas, las necesidades satisfechas no motivan.

### **Teoría de los Factores de Frederick Herzberg**

El fundamento de la teoría de Frederick Herzberg es que lo opuesto a la satisfacción no es la insatisfacción. Los factores que provocan insatisfacción en las personas son distintos e independientes de los factores que producen

satisfacción [HERZ66, HERZ67]. La teoría parte de que el ser humano tiene un doble sistema de necesidades: la necesidad de evitar el dolor o las situaciones desagradables y la necesidad de crecer emocional e intelectualmente. Cada tipo de necesidad requiere de incentivos diferentes, de ahí que describiese dos tipos de factores relacionados con la motivación:

- Factores higiénicos. Su activación provoca insatisfacción y su anulación elimina dicha insatisfacción, pero no genera satisfacción, es decir, no garantiza la motivación, porque son factores que simplemente evitan el descontento. El término “higiene” indica su carácter preventivo, advirtiendo que son fuentes de insatisfacción que conviene eludir. Están relacionados con el entorno del puesto de trabajo como el salario, las condiciones laborales y ambientales, la seguridad, la estabilidad, las políticas de la organización, el control o el tipo de liderazgo.
- Factores motivacionales. Son los que producen satisfacción, los que verdaderamente motivan, pero si y sólo si los factores higiénicos están desactivados. Están relacionados con el puesto de trabajo en sí y entre ellos se consideran el reconocimiento, el sentimiento de logro, la responsabilidad, las tareas estimulantes, la autonomía, la libertad de decisión, la participación, el crecimiento personal y la autorrealización o la promoción.

En resumen, si no están funcionando adecuadamente ninguno de los dos tipos de factores, el individuo se encontrará totalmente insatisfecho. Si solamente se evitan los factores higiénicos, las personas no estarán insatisfechas, pero tampoco estarán motivadas. Si se impulsan los factores motivacionales pero los higiénicos también están activos, las personas seguirán insatisfechas ya que se estará bloqueado el efecto de los factores motivacionales. Sólo existirá motivación cuando ambos tipos de factores estén funcionando adecuadamente, es decir, cuando se eviten los factores higiénicos y se promuevan los motivacionales.

### **Teoría ERG de Clayton Alderfer**

Clayton Alderfer, reduce las necesidades de los seres humanos a tres tipos basados en la Jerarquía de Necesidades de Maslow. La correspondencia es la siguiente [ALDE72]:

- Necesidades de existencia (E, *Existence*): las necesidades fisiológicas y las necesidades de seguridad de la Pirámide de Maslow.

- Necesidades de relación (R, *Relatedness*): las necesidades sociales o de pertenencia de Maslow.
- Necesidades de Crecimiento (G, *Growth*): las necesidades de reconocimiento y las necesidades de autorrealización de la Pirámide de Maslow.

De ahí el nombre ERG (*Existence, Relatedness and Growth*) de su teoría.

Alderfer cuestiona el modelo de Maslow, ya que Maslow consideraba que las personas ascendían constantemente por la jerarquía de necesidades de forma que al satisfacer una necesidad esta perdía su capacidad de motivación. Para Alderfer existe el movimiento ascendente que denomina satisfacción progresiva, pero además existe otro descendente que lo identifica como frustración regresiva. Por tanto, si alguien se frustra al no poder satisfacer unas determinadas necesidades, retrocedería para satisfacer necesidades inferiores, aunque ya estuvieran satisfechas.

### **Teoría de las Expectativas de Victor Vroom**

Vroom sugiere la motivación es mucho más compleja que lo que proponen las teorías de Maslow y Herzberg que son más generalistas y reduccionistas. La Teoría de las Expectativas [VROO64, PORT68, VROO70] incide sobre la individualidad reconociendo la importancia de factores como la personalidad, las habilidades, el conocimiento, la experiencia y las competencias. El modelo considera que las percepciones, las creencias y las expectativas influyen de manera importante en el comportamiento de las personas. La conducta es el resultado de elecciones que se basan en maximizar las recompensas y minimizar las pérdidas. Las personas altamente motivadas son aquellas que perciben el valor de los objetivos y de las recompensas, a la vez que perciben que la probabilidad de éxito es elevada.

Por lo tanto, la motivación es la cantidad de esfuerzo que el individuo está dispuesto a invertir para lograr sus objetivos. Es decir, la variable *Motivación* depende del valor de la recompensa (*Valencia*) y de la *probabilidad de logro*.

$$\text{Motivación} = \text{Valencia} \cdot \text{probabilidad de logro}$$

Y a su vez, la *probabilidad de logro* se descompone en dos factores: la probabilidad de que el esfuerzo conduzca al resultado (*Expectativa*) y la probabilidad de que una vez obtenido el resultado se alcance la recompensa (*Instrumentalidad*).

$$\text{Motivación} = \text{Valencia} \cdot \text{Expectativa} \cdot \text{Instrumentalidad}$$

Esto significa si una persona no tiene ningún interés por el trabajo, o no se siente capaz, o percibe que el esfuerzo no le va a repercutir en nada, la motivación será baja

En definitiva, según la Teoría de las Expectativas, la motivación depende de tres factores:

- *Valencia*. Nivel de deseo de una persona por alcanzar un objetivo. Depende de cada persona. El rango de valores va de  $-1$  a  $1$ . Valdrá  $1$  cuando se desee alcanzar el objetivo,  $0$  cuando el resultado sea indiferente y  $-1$  cuando se evite lograr el resultado.
- *Expectativa*. La confianza que tiene una persona en que el esfuerzo realizado producirá el efecto deseado. Su valor varía entre  $0$  y  $1$  ya que es una probabilidad. Su valor depende de la percepción que tenga una persona de sus capacidades. A mayor capacidad mayor expectativa.
- *Instrumentalidad*. Percepción de si la recompensa será equitativa y correspondida con el esfuerzo realizado. El valor está entre  $0$  y  $1$ .

Por lo tanto, la *Motivación* se moverá en un espectro del  $-1$  al  $1$ , por lo que la Teoría de las Expectativas contempla la posibilidad de una motivación negativa.

### **Teoría X y Teoría Y de Douglas McGregor**

Douglas McGregor [MCGR60, MCGR66] considera que existen dos actitudes hacia la motivación personal y que los responsables de las organizaciones siguen uno de ellas, que las denominó Teoría X y Teoría Y<sup>51</sup>.

- En un lado está la Teoría X, que es una visión conservadora y negativa de la relación de las personas con el trabajo, la cual sostiene que estas eluden el trabajo y las responsabilidades prefiriendo ser dirigidas. La motivación funcionaría sólo en los dos niveles inferiores de Maslow, las necesidades fisiológicas y las de seguridad, dado que estas dominan a las personas. Las personas tienen que ser obligadas, controladas y a veces amenazadas con sanciones.

---

<sup>51</sup> Posteriormente William Ouchi propuso la Teoría Z o modelo japonés [OUCH81] que pretende equilibrar a las dos, aunque se considera que está más cercana de la Teoría Y. Es una visión más humanista de la empresa que hace hincapié en la en las relaciones humanas y en la participación, recogiendo características de las compañías japonesas de la época (confianza, trabajo en equipo, responsabilidad comunitaria, relaciones personales estrechas), y que está muy próxima a los 14 puntos de William Deming, con objeto de conseguir un mayor compromiso y rendimiento.

- En el lado opuesto está la Teoría Y, que es optimista ya que considera que el trabajo es algo natural, las personas tienden a aceptar responsabilidades, se comprometen, aceptan el cambio, son creativas. Supone que las necesidades de orden superior dominan a las personas por lo que la motivación se asocia al logro y la confianza.

Esto significa que los líderes orientan sus acciones según los supuestos que *a priori* consideren válidos. Si se identifican con la Teoría X desarrollarán un liderazgo autocrático y supervisor, basado en el premio y el castigo. Por el contrario, un líder que abrace la Teoría Y fomentará la participación, la autonomía y el desarrollo personal. Esto genera un bucle de realimentación positiva que se conoce como efecto Pigmalión<sup>52</sup> o profecía autorrealizada: el líder considera que las personas tienen ciertas características, las dirige de acuerdo a sus prejuicios y las personas se comportan como si los supuestos de partida fueran ciertos.

#### **Teoría de las tres necesidades de David McClelland**

David McClelland [MCCL61, MCCL85] propone que las necesidades de un individuo se adquieren con el tiempo y son configuradas por su propia experiencia (familia, escuela, medios de comunicación,...). Sugiere que una vez que el individuo ha satisfecho sus necesidades primarias (las fisiológicas y las de seguridad de Maslow), la conducta del individuo pasa a estar dirigida por tres tipos de necesidades, que si bien actúan concurrentemente, en determinados momentos una de ellas domina por lo que la persona busca su satisfacción. Estas necesidades son:

- **Logro:** Las personas con necesidad predominante de logro intentan hacer bien las cosas. Buscan tener éxito, alcanzar metas, vencer obstáculos. Asumen responsabilidades y procuran la excelencia. Necesitan evaluarse para mejorar sus resultados. Prefieren trabajar solos o con personas que también buscan el logro.
- **Afiliación:** Los individuos con especial necesidad de afiliación buscan relaciones interpersonales armoniosas y ser aceptados por los demás. Prefieren la cooperación a la competencia, les gusta ser populares y ayudar a los demás, prefieren trabajar en grupo ya que les incomoda el trabajo individual. Realizan bien tareas de interacción con clientes.
- **Poder.** Una persona motivada por el poder busca influir y controlar a otras personas, mira por su prestigio y *status*, y prefiere la competencia.

---

<sup>52</sup> Mito griego en el que el rey de Chipre y gran escultor, Pigmalión, esculpió una mujer según su ideal de perfección de la cual se enamoró y deseó que cobrara vida. La diosa Afrodita se conmovió y dio vida a la estatua realizando el deseo de Pigmalión.

Le gusta la política y se preocupa más por lograr influencia que por sus resultados. Está destinada a labores de gestión ya que tiene que dirigir a otros para que realicen tareas y alcancen los objetivos.

McClelland se centró en la motivación por el logro. Las personas motivadas por el logro buscan tareas con objetivos, donde sientan responsabilidad por los resultados y donde puedan tener realimentación sobre su rendimiento (perciben el sueldo es un indicador de ello). Suelen reflejarse en la Teoría X de McGregor debido a su gran orientación hacia el trabajo, además son más sensibles a los factores motivacionales de Herzberg.

### **7.1.2 Correspondencia teórica del conocimiento experto**

La variable clave que recoge el nivel de motivación de las personas de una organización es la Satisfacción de las Personas, que hemos abreviado como **satisfacción**. Si revisamos la literatura publicada sobre la satisfacción en el puesto de trabajo, nos encontramos que existen muchos y diversos modelos los cuales incorporan diversos conjuntos de indicadores. Las primeras investigaciones son anteriores a la década de los sesenta, cuando todavía era incipiente el uso de tecnologías informáticas en la gestión organizacional. Se centraron en variables individuales, incluyendo factores demográficos y de la personalidad, y parte de este trabajo continúa hoy día. Otros modelos se han centrado en características del puesto de trabajo, en el estilo de liderazgo o en las interrelaciones entre los líderes y los miembros de la organización. Además, la investigación actual va más allá de los modelos lineales simples y propone modelos más complejos [VENK07].

Debido a la amplitud y profundidad de la investigación en satisfacción laboral, existen numerosas revisiones y síntesis del área, incluyendo algunos metanálisis. Entre estos destacan los trabajos de Petty, McGee y Cavender que presentan un metanálisis sobre la base del rendimiento como indicador [PETT84]; o Loher, Noe, Moeller y Fitzgerald que publican un metanálisis en torno a las características del puesto de trabajo [LOHE85]; o Scott y Taylor que presentan un metanálisis relacionado con el absentismo laboral [SCOT85]; o Judge y Larsen que realizan una revisión de la investigación de la satisfacción laboral [JUDG01]; o Judge, Heller y Mount que presentan un metanálisis de la personalidad como elemento de predicción [JUDG02]. En resumen, las numerosas y diferentes síntesis de la literatura dan una idea del avance teórico en este campo y ayudan a percibir la importancia de la satisfacción laboral como variable. Sin embargo, lo que destaca es que los resultados de la investigación de la satisfacción laboral en relación a la adopción de tecnología es escasa y se limita exclusivamente a los modelos

estudiados en el capítulo 4, el Modelo de Aceptación de la Tecnología y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean [VENK07].

Como ya hemos indicado en el apartado 7.1.1, no conviene confundir los conceptos de satisfacción y motivación: la motivación es la causa y la **satisfacción** es la consecuencia. Además se debe tener en cuenta que la motivación es un proceso y, por lo tanto, conviene analizarlo como algo dinámico cuyo efecto, en nuestro caso la **satisfacción**, no es estático. El quid radica en reforzar los aspectos que potencian su efecto positivo y en limitar, o eliminar, los que generan un efecto negativo.

De las teorías estudiadas en el apartado 7.1.1, la que mejor se adapta a este enfoque es la elaborada por Frederick Herzberg, que basa su teoría en el entorno externo y en el individuo y no exclusivamente en las necesidades humanas como sostiene Maslow en su Teoría de la Motivación. Además es un modelo generalista que nos ayuda a mantener la simplicidad del modelo<sup>53</sup>.

Para Herzberg la motivación de las personas depende de dos factores: higiénicos o desmotivadores (que producen insatisfacción) y motivacionales. No deben considerarse como dos factores estrictamente opuestos. Por un lado, los factores higiénicos cuando son elevados producen insatisfacción y cuando desaparecen simplemente no producen insatisfacción, no motivan propiamente. Los factores motivacionales son los que realmente motivan, siempre y cuando los factores higiénicos no estén ejerciendo su influencia negativa. Es decir, deben atenuarse los factores higiénicos para evitar la desmotivación si queremos que los factores motivaciones produzcan su efecto.

En este sentido, la variable **Madurez** será un factor motivacional dado que implica el uso del sistema implementado. Como se defiende en el Modelo de Aceptación de la Tecnología (TAM), en el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean (D&M) y en el Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning (capítulo 4), una experiencia positiva con el uso dará lugar a una mayor satisfacción del usuario. Esto es, dado que una vez que el usuario experimenta los beneficios netos del nuevo sistema, estará más dispuesto a utilizar el mismo ya que cuanto más sencillo es interactuar con un sistema, mayor será el sentido de autoeficacia, lo que se traduce en mayor satisfacción con el sistema.

Se crea un bucle de realimentación positiva entre las variables **Madurez** y **satisfacción**. Como hemos visto en el apartado 7.1.1, David McClelland

---

<sup>53</sup> La Teoría de las Expectativas de Vroom, la Teoría X y Teoría Y de McGregor o Teoría de las tres necesidades de McClelland hubieran añadido complejidad al modelo, ya que estos consideran características específicas de cada individuo.

sostiene que parte de la conducta humana se explica en términos de la necesidad de logro, que se define como el deseo de tener éxito en actividades que impliquen un nivel de prestigio o en actividades en las que se puedan definir claramente el éxito y el fracaso. A su vez Nelson Repenning cita la Ley de Efecto de Thorndike [THOR11] -que dice que las acciones que llevan a resultados deseados probablemente se repitan, mientras que las acciones que producen resultados no deseados se evitarán- para construir el bucle positivo de su modelo que denomina Refuerzo (ver apartado 4.6.1) que puede aumentar o disminuir el compromiso en función de de los resultados.

En definitiva, si los miembros de la organización están motivados, están satisfechos, se esforzarán por mejorar sus resultados e implicarse en la organización; y fruto de este compromiso aumentará la proactividad y el deseo de mejorar<sup>54</sup>. Citando a Repenning (ver apartado 4.6.1), un aumento en el nivel de los resultados atribuidos al uso de la innovación produce un compromiso adicional que, a su vez, lleva a un mayor esfuerzo, por lo tanto, aumenta más aún el nivel de los resultados.

Por el contrario, la **Sobrecarga de Trabajo** será un factor higiénico o desmotivador que conviene mitigar para que no produzca insatisfacción. Su causalidad es negativa, a mayor valor de la variable **Sobrecarga de Trabajo**, menor será el valor de la variable **satisfacción**. Su comportamiento deberá tender a amortiguar la **satisfacción** hasta un estacionario. Un segundo factor higiénico es el que depende del **salto Tecnológico**. La falta de conocimiento, la ignorancia, genera inseguridad laboral (ver capítulo 8). La falta de seguridad es un factor que determina nuestro comportamiento y uno de los factores higiénicos básicos.

### 7.1.3 Modos de referencia

El comportamiento básico de la variable **satisfacción** lo recogemos con dos modos de referencia. En el modo de referencia Modo B de la Figura 68, se describe la relación de causalidad entre las dos variables de nivel **satisfacción** y **Madurez**. En condiciones ideales, es decir, en ausencia de la acción de los factores higiénicos que reprimen la motivación (**Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**) la **satisfacción** debe ser una respuesta lineal creciente de la **Madurez**; a mayor **Madurez**, mayor **satisfacción**. Sin embargo en presencia de factores higiénicos, el efecto de la **Madurez** sobre la **satisfacción** apenas será apreciable, pudiendo llegar a ser decreciente (en función de los valores de los factores higiénicos o desmotivadores).

---

<sup>54</sup> No es casualidad que uno de los subcriterios del Modelo Europeo de Excelencia, EFQM (<http://www.efqm.org/>), haga mención expresa a este compromiso. Concretamente en el criterio agente relativo a las Personas, el subcriterio 3.c dice: “*People are aligned, involved and empowered*”.

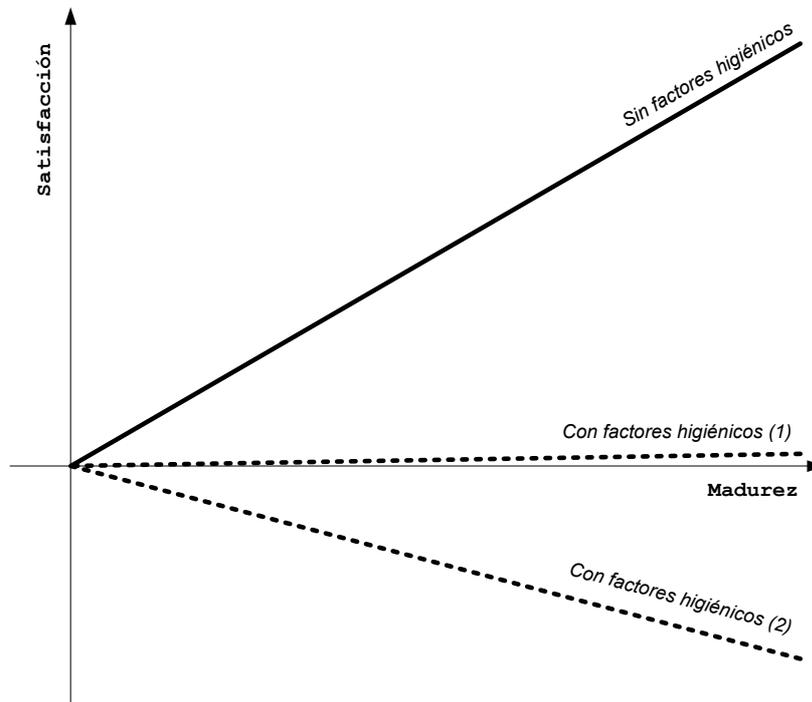


Figura 68. Modo B. Modo de referencia de las variables Madurez y Satisfacción.

La representación del comportamiento de esta relación es compleja y la simplificamos en el modo de referencia Modo C de la Figura 69.

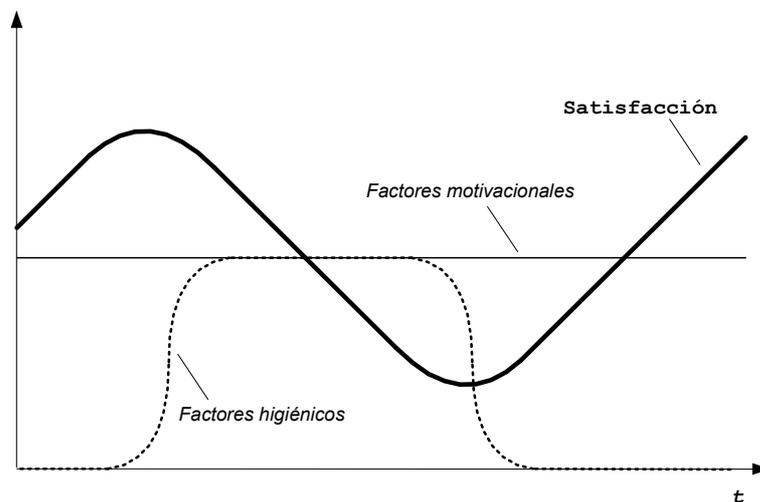


Figura 69. Modo C. Modo de referencia de la variable Satisfacción.

En la representación este modo de referencia Modo C estamos considerando un efecto constante de los factores motivacionales (**Madurez**). En ausencia de factores higiénicos (**Sobrecarga de Trabajo y/o Salto Tecnológico**) el incremento de la **satisfacción** sería también constante dada la relación lineal existente entre el factor motivacional **Madurez** y la **Satisfacción**. Pero

si suponemos una activación de alguno de los factores higiénicos, se inhibirá el efecto de los factores motivacionales, por lo que la **satisfacción** disminuirá hasta que los factores higiénicos se corrijan. Y de nuevo, en ausencia de factores desmotivadores, la **satisfacción** volverá a crecer.

Este comportamiento es diferente al considerado en los dos únicos modelos de adopción de sistemas informáticos que incluyen la satisfacción como variable, el Modelo de Aceptación de la Tecnología y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean (ver capítulo 4), que suponen una respuesta lineal simple de la satisfacción sin tener en cuenta el efecto de los factores higiénicos. La inclusión de las propuestas de Herzberg forma parte de las aportaciones de esta tesis.

## 7.2 Modelo Causal

No existe un bucle asociado explícitamente a este sector, dado que la variable **satisfacción** ejerce de nexo entre los otros dos sectores. Sin embargo esta variable participa significativamente en los bucles 1, 2 y 6, como se muestra en la Figura 70.

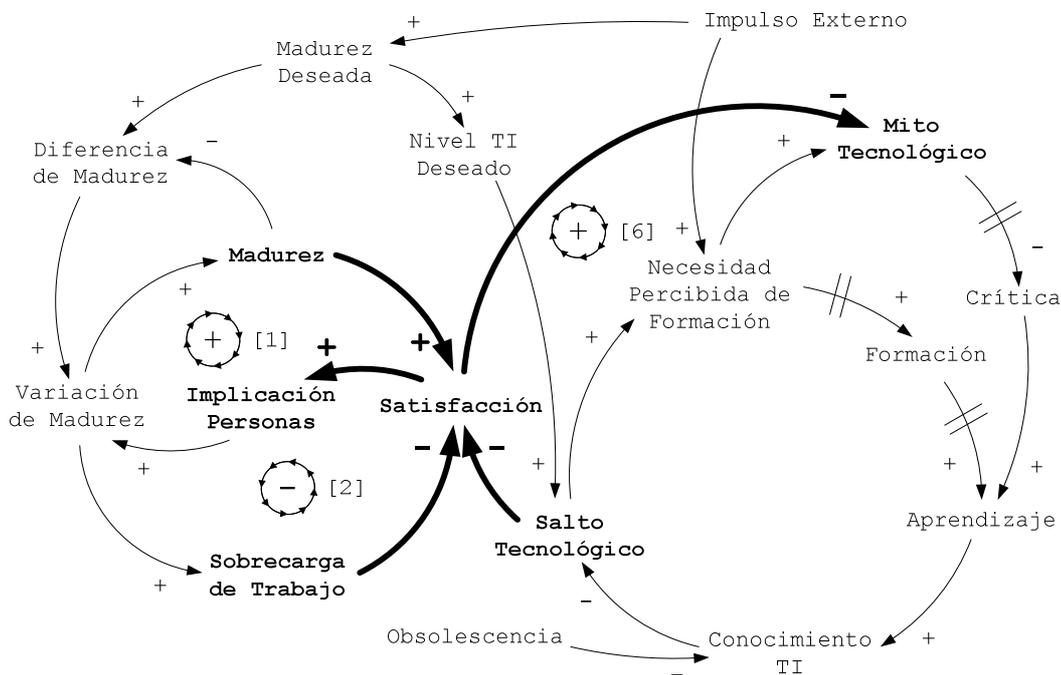


Figura 70. Influencia de los bucles 1, 2 y 6 sobre la variable Satisfacción.

Por un lado, en ausencia de factores desmotivadores, un refuerzo de la **Madurez** mejora la **satisfacción**, dado que la percepción de los beneficios del uso del nuevo sistema hace que aumente la autoeficacia, lo que se traduce en un incremento del compromiso a utilizar el mismo, representado con la

variable **Implicación Personas**, lo que cierra el bucle de realimentación positiva dado que conlleva un incremento del uso del nuevo sistema informático, es decir, de la **Madurez** (ver apartado 6.2.1).

A su vez, el aumento de la **Madurez** debido a la adopción de una nueva tecnología (variable **Variación de Madurez**) comporta el aumento transitorio del trabajo (**Sobrecarga de Trabajo**). Esto activa lo que se conoce como síndrome del *burnout*, es decir, el deterioro de la autoestima y el aumento de la frustración lo que provoca una disminución de la motivación en el trabajo. Por ese motivo, se considera que la **Sobrecarga de Trabajo** es un factor higiénico o desmotivador que tiene una causalidad negativa sobre la variable **Satisfacción** (ver apartado 6.2.2).

Por último, un incremento del **Salto Tecnológico**, significa falta de conocimiento lo cual produce inseguridad y, por ende, decae la **Satisfacción**. Una disminución de la **Satisfacción** conlleva una autoestima baja y que las personas sean más susceptibles a elogiar la tecnología por miedo a parecer ignorantes, es decir, hace que la influencia del **Mito Tecnológico** sea mayor, como se explicará con más detalle en el apartado 8.2.3. Un aumento del **Mito Tecnológico** debilita la capacidad de **Crítica**, lo que hace que disminuya el **Aprendizaje** y, en consecuencia, el **Conocimiento TI** no alcanzará el **Nivel TI Deseado**, en definitiva, supone que el **Salto Tecnológico** aumente y que empeore la **Satisfacción**.

### **7.3 Diagrama de Forrester**

Como hemos indicado previamente, el Diagrama de Forrester del modelo se organiza en tres partes o subdiagramas (ver apartado 5.3). El subdiagrama asociado a este capítulo, “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción”, se muestra en la Figura 71 donde se puede ver que está influido por las variables **Madurez**, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**; y que a su vez influye en los otros dos subdiagramas a través de la variable central **Satisfacción**.

#### **7.3.1 Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción**

En este subdiagrama modelamos la Teoría de los Factores de Frederick Herzberg que hemos considerado para simular el comportamiento de la variable **satisfacción**. Si bien no lo hemos recogido en detalle en los diagramas causales para no dificultar la lectura de estos, sí lo hemos descrito en los modos de referencia (ver apartado 7.1.3).

La variable **satisfacción** está influida de diferente manera por las variables **Madurez**, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**. Por un lado, cuando están activados alguno de los dos factores higiénicos o desmotivadores, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**, producen insatisfacción reprimiendo las acciones motivadoras. Sin embargo, el factor motivacional **Madurez** es el que realmente motiva, siempre y cuando dichos factores higiénicos estén desactivados.

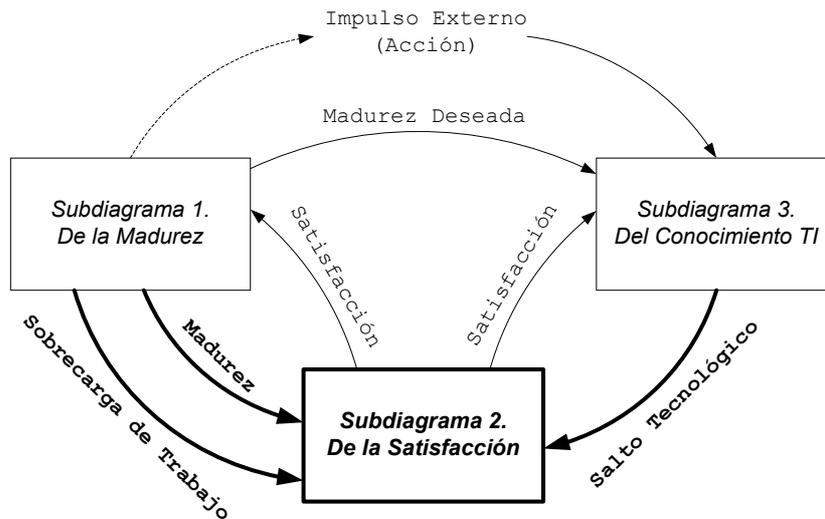


Figura 71. Conexión del Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general.

Para modelar esto hemos considerado que los factores higiénicos, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**, actúan como filtro de forma que cuando tienen un valor positivo inhiben la acción de la **Madurez** pero cuando su valor es nulo permiten que la **Madurez** pueda influir positivamente sobre la **satisfacción**. Por lo tanto, la motivación será la función:

$$\text{Motivación}(t) = \text{Factores Motivacionales}(t) \cdot \text{filtro}(\text{Factores Higiénicos}(t)) \quad [\text{Eq. 7-1}]$$

La acción de filtrado la hemos expresado en la Figura 72. Como se representa con la línea a trazos, los factores higiénicos controlan la influencia de los factores motivacionales de acuerdo a la función de la Figura 73. Es decir, en ausencia de factores higiénicos (valores no positivos) el filtro valdrá uno, por lo que los factores motivacionales actuarán sin limitación. Sin embargo, para valores positivos de los factores higiénicos el filtro será cero (o valores cercanos a cero) inhibiendo la acción motivadora.

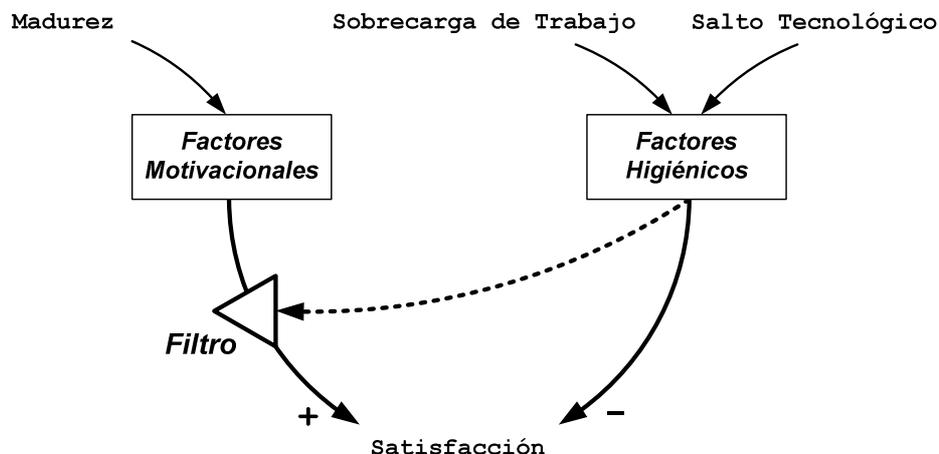


Figura 72. Estructura del filtrado de los factores motivacionales por los factores higiénicos.

Hemos considerado que no es muy real un filtro discontinuo de tipo escalón (como la línea a trazos de la Figura 73). Para valores pequeños de los factores higiénicos se empezará a apreciar la influencia de los factores motivaciones por lo que es adecuado una función como la de la Eq. 7-2.

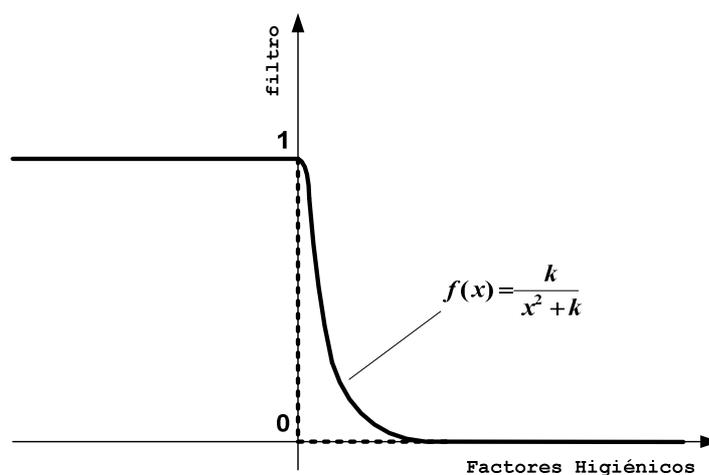


Figura 73. Función de filtro de los factores motivacionales.

En el caso de valores cercanos al cero de los factores higiénicos, el filtro irá permitiendo la acción de los factores motivacionales. En la simulación hemos incluido el coeficiente  $k$  para ajustar la ventana de actividad. Para valores pequeños de  $k$  la función decrecerá de manera más pronunciada, será más cóncava; mientras que para valores mayores de  $k$  la pendiente se suaviza, aumentando dicha ventana y permitiendo una mayor de influencia de los factores motivacionales en presencia de factores higiénicos.

$$f(x) = \begin{cases} 1 & , x \leq 0 \\ \frac{k}{x^2 + k} & , x > 0 \end{cases} \quad [Eq. 7-2]$$

En la Figura 74 se muestra el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” y que corresponde a la estructura mostrada en la Figura 72. El diagrama gira en torno a la variable de nivel **satisfacción** que como hemos explicado en el apartado 5.1.3 se mide en *SatisfUnits*.



Figura 74. Detalle del Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción.

La variable de nivel **satisfacción** está regulada por dos variables de flujo, una de entrada, **Motivación**, y otra de salida, **Desmotivación**. Ambas se miden en *SatisfUnits/t*. Por lo que **satisfacción** responde a la expresión:

$$Satisfacción(t) = \int_0^t (Motivación(t) - Desmotivación(t)) dt \quad [Eq. 7-3]$$

Lo que en la notación en el lenguaje de simulación dinámica corresponde a la siguiente ecuación dinámica:

$$Satisfacción = INTEG(Motivación - Desmotivación, Satisfacción Inicial) \quad [Eq. 7-4]$$

Donde la constante **satisfacción Inicial** es el valor de la variable **satisfacción** en el instante inicial de la simulación.

Por lo que la variación de la **satisfacción** será:

$$\frac{d(\text{Satisfacción}(t))}{dt} = \text{Motivación}(t) - \text{Desmotivación}(t) \quad [\text{Eq. 7-5}]$$

En otras palabras, las variables de flujo **Motivación** y **Desmotivación** son las derivadas de la **satisfacción** respecto del tiempo y su definición es la siguiente:

$$\text{Motivación} = \text{Factores Motivacionales} * \text{filtro} \quad [\text{Eq. 7-6}]$$

$$\text{Desmotivación} = \text{Factores Higiénicos} \quad [\text{Eq. 7-7}]$$

A su vez las ecuaciones dinámicas de las variables auxiliares **Factores Higiénicos** ( $\text{SatisfUnits}/t$ ), **Factores Motivacionales** ( $\text{SatisfUnits}/t$ ) y **filtro** (*adimensional*) SON:

$$\begin{aligned} \text{Factores Higiénicos} = & \text{Peso Higiénico} * \\ & (((\text{Sobrecarga de Trabajo} / \text{Tiempo de Desánimo por} \\ & \text{Burnout}) * \text{Tasa de Desánimo por Burnout}) \\ & + ((\text{Salto Tecnológico} / \text{Tiempo de Desánimo por} \\ & \text{Ignorancia}) * \text{Tasa de Desánimo por Ignorancia})) \quad [\text{Eq. 7-8}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Factores Motivacionales} = & \text{Peso Motivacional} * \\ & ((\text{Madurez} / \text{Tiempo de Motivación por Madurez}) \\ & * \text{Tasa de Motivación por Madurez}) \quad [\text{Eq. 7-9}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{filtro} = & \text{IF THEN ELSE}(\text{Factores Higiénicos} > 0, \\ & k / ((\text{Factores Higiénicos}^2) + k), 1) \quad [\text{Eq. 7-10}] \end{aligned}$$

Hemos añadido dos variables de ajuste del modelo, **Peso Higiénico** y **Peso Motivacional**, para regular la importancia relativa de cada uno de los dos factores que influyen en la **satisfacción**.

La influencia de la **Madurez** sobre la **satisfacción** está graduada por dos coeficientes. Por un lado tenemos la **Tasa de Motivación por Madurez** ( $\text{SatisfUnits}/\text{MaturUnits}$ ) que indica el grado de motivación que se produce por unidad de **Madurez**. El **Tiempo de Motivación por Madurez** ( $t$ ) señala el tiempo que se tarda en activarse la motivación debido a un aumento de la **Madurez**.

La variable **salto Tecnológico** se regula con dos coeficientes. La **Tasa de Desánimo por Ignorancia** ( $\text{SatisfUnits}/\text{TechUnits}$ ) es la carga desmotivadora que origina el **salto Tecnológico** sobre la **satisfacción**. El **Tiempo de Desánimo por Ignorancia** ( $t$ ) es el tiempo que tarda en

aparecer los efectos negativos sobre la **satisfacción** debido a un aumento del **Salto Tecnológico**.

De igual manera, asociados a la variable **sobrecarga de Trabajo** actúan dos coeficientes. El **Tiempo de Desánimo por Burnout** ( $t$ ) representa el tiempo que tarda en hacer mella la desmotivación debido al síndrome del *burnout*. La **Tasa de Desánimo por Burnout** ( $SatisfUnits*t/MaturUnits$ ) es la insatisfacción generada en función del valor del síndrome del *burnout* originado por el exceso de trabajo.

## **7.4 Validación del sector**

### **7.4.1 Reproducción del comportamiento previsto**

Como hemos especificado en el apartado 6.4.1, la unidad de simulación es el mes (*Month*) y el periodo de cálculo de los valores (**TIME STEP**) de 1 (*Month*). En este caso el horizonte temporal (**FINAL TIME**) lo hemos fijado en 5 años (60 meses), es decir, un periodo de planificación estratégica de 5 años (ver apartado 6.1.2).

Para contrastar el comportamiento de este sector con el modo de referencia Modo B (Figura 68) hemos fijado para variables auxiliares provenientes de los otros dos diagramas los siguientes valores constantes:

$$\text{Sobrecarga de Trabajo} = \text{Acción} \quad [\text{Eq. 7-11}]$$

$$\text{Salto Tecnológico} = \text{Acción} \quad [\text{Eq. 7-12}]$$

De forma que la influencia de las dos variables esté equilibrada e igual a la variable **Acción**, asociada al **Impulso Externo**. Hay que tener en cuenta que es un comportamiento poco real ya que las variables **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico** tendrán una ventana de actuación más corta y con una forma más parecida a una campana de Gauss.

La variable de nivel externa, **Madurez**, la vamos a definir como una función lineal creciente desde el valor **Madurez Inicial** con un incremento de **Acción** en el periodo de estudio, **FINAL TIME**.

$$\text{Madurez} = ((\text{Acción} * \text{Time}) / \text{FINAL TIME}) + \text{Madurez Inicial} \quad [\text{Eq. 7-13}]$$

Siendo los siguientes valores para las constantes referidas:

$$\text{Acción} = 100(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-14}]$$

$$\text{Madurez Inicial} = 300(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-15}]$$

Igualmente hemos fijado los siguientes valores:

$$\text{Tasa de Desánimo por Burnout} = 0.125(\text{SatisfUnits} * t / \text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-16}]$$

$$\text{Tasa de Desánimo por Ignorancia} = 0.125(\text{SatisfUnits} / \text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 7-17}]$$

$$\text{Tasa de Motivación por Madurez} = 0.125(\text{SatisfUnits} / \text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-18}]$$

$$\text{Tiempo de Desánimo por Burnout} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-19}]$$

$$\text{Tiempo de Desánimo por Ignorancia} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-20}]$$

$$\text{Tiempo de Motivación por Madurez} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-21}]$$

Hemos fijado el valor del **Peso Motivacional** en 0.125 (Eq. 7-26) y de momento dejamos la constante **k** con valor 1 (adimensional). Y la Satisfacción la inicializamos en 300 *SatisfUnits* (Eq. 7-22).

$$\text{Satisfacción Inicial} = 300(\text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 7-22}]$$

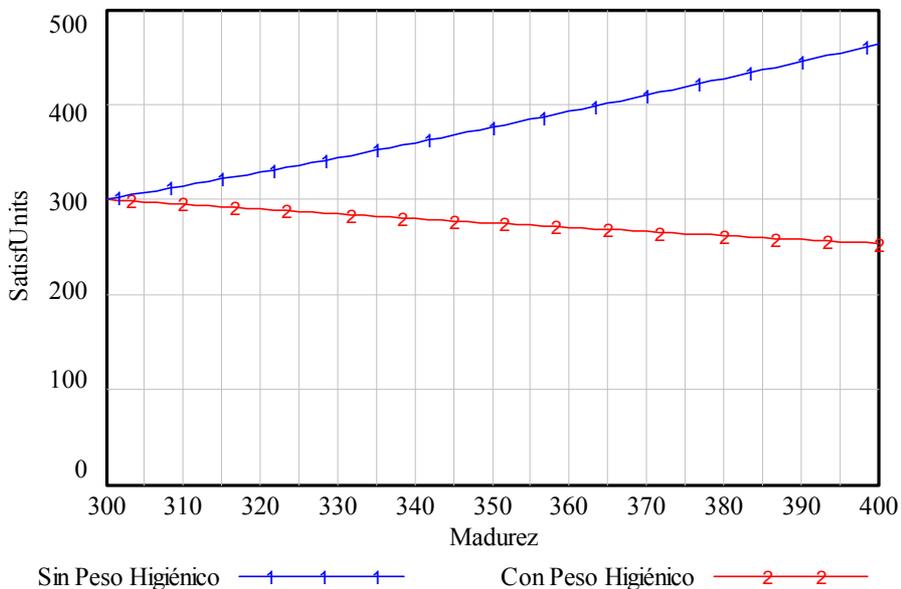


Figura 75. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68).

Para poder comparar los dos comportamientos (con y sin factores higiénicos) hemos realizado dos simulaciones (Figura 75). Para la primera simulación,

denominada “Sin Peso Higiénico” (línea 1) el valor del **Peso Higiénico** es 0 (*adimensional*); y para la segunda, “Con Peso Higiénico” (línea 2), el valor de la variable **Peso Higiénico** lo hemos fijado en 0.125.

Como se puede comprobar, en ausencia de factores desmotivadores (“Sin Peso Higiénico”) la **satisfacción** crece de manera constante. Sin embargo, como se había estimado en el modo de referencia Modo B (Figura 68), cuando se activan los factores higiénicos (línea 2), el comportamiento pasa ser monótono decreciente.

De cara a validar la adecuación al modo de referencia Modo C (Figura 69), necesitamos definir un nuevo escenario y modificar las ecuaciones *Eq. 7-11*, *Eq. 7-12* y *Eq. 7-13* para que la variable **Factores Motivacionales** permanezca constante y equilibrada en relación a los dos factores higiénicos. Por tanto definimos las variables externas de la forma:

$$\mathbf{Madurez} = 300(\mathit{MaturUnits}) \quad [\mathit{Eq. 7-23}]$$

$$\mathbf{Sobrecarga\ de\ Trabajo} = 150(\mathit{MaturUnits}/\mathit{Month}) \quad [\mathit{Eq. 7-24}]$$

$$\mathbf{Salto\ Tecnológico} = 150(\mathit{TechUnits}) \quad [\mathit{Eq. 7-25}]$$

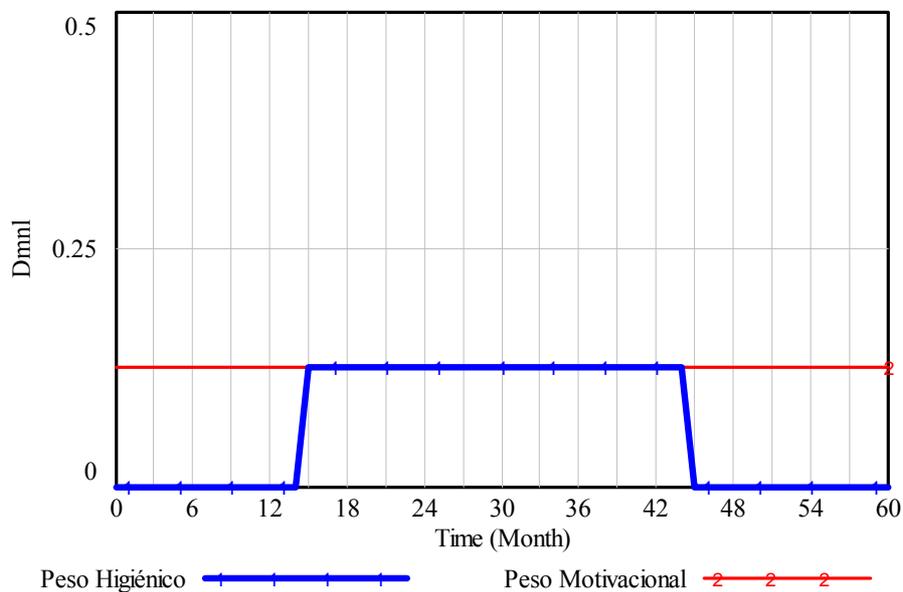


Figura 76. Valores del Peso Motivacional y del Peso Higiénico para la validación del modo de referencia Modo C (Figura 69).

Además, por un lado, mantenemos la variable de ajuste **Peso Motivacional** con el mismo valor que en el modo de referencia anterior (*Eq. 7-26*). Y el **Peso Higiénico**, como un pulso que dura la mitad del horizonte temporal y

que está centrado en dicho horizonte temporal (Eq. 7-27). Como se puede ver en la Figura 76, la amplitud del pulso es la misma que el **Peso Motivacional**.

$$\text{Peso Motivacional} = 0.125(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 7-26}]$$

$$\text{Peso Higiénico} = 0.125 * \text{PULSE TRAIN}(\text{FINAL TIME}/4, \text{FINAL TIME}/2, \text{FINAL TIME}, \text{FINAL TIME}) \quad [\text{Eq. 7-27}]$$

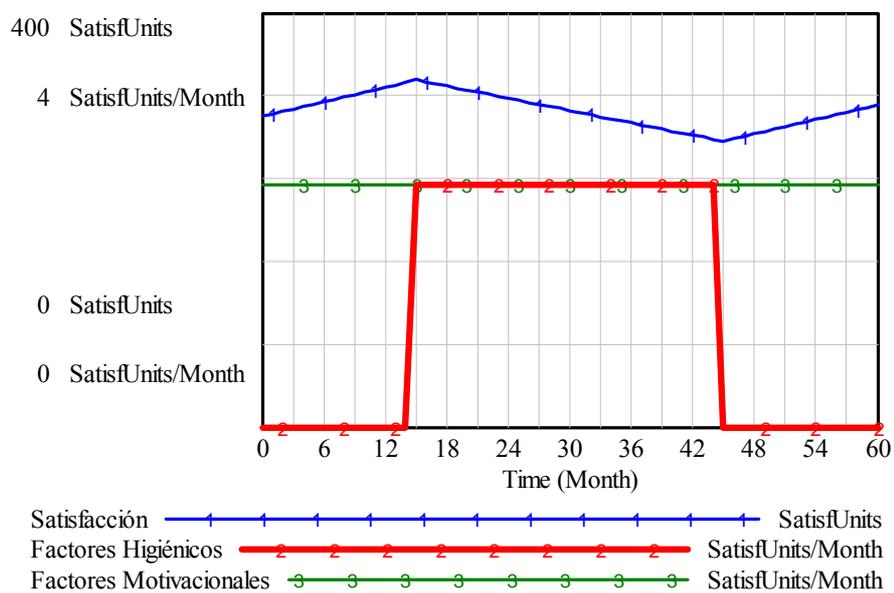


Figura 77. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69).

En la simulación realizada manteniendo el resto de valores y que se recoge en la Figura 77, se comprueba que el comportamiento del modelo es similar al previsto en el modo de referencia Modo C (Figura 69). Es decir, que en ausencia de factores higiénicos (línea 2), los factores motivacionales (línea 3) ejercen su influencia haciendo que la **satisfacción** (línea 1) crezca. Sin embargo, cuando se activan los factores higiénicos (línea 2), el efecto motivador es amortiguado por el filtro provocando que la **satisfacción** disminuya hasta que desaparecen los elementos higiénicos o desmotivadores.

### 7.4.2 Análisis de sensibilidad

Al igual que en el capítulo anterior (ver apartado 6.4.2), vamos a realizar el análisis de sensibilidad multivariante con el método Monte Carlo que proporciona Vensim®, con una distribución uniforme aleatoria y con 1000 simulaciones.

Para analizar con más detalle el comportamiento del sector, en lugar de suponer una entrada constante de las tres variables externas (Eq. 7-23, Eq. 7-24 y Eq. 7-25), vamos a considerar que las entradas sean variables en torno a valores que pueden ser más razonables. Por un lado retomamos la declaración de la variable de nivel **Madurez** de la Eq. 7-13 que partiendo de un valor 300 *MaturUnits* alcanza los 400 (un incremento de **Acción**) durante un periodo de planificación estratégica de cinco años. Por otro, definimos el comportamiento variable de los factores higiénicos o desmotivadores, **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**, como sendos pulsos (Figura 78) de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Sobrecarga de Trabajo} &= \text{Acción} * \text{PULSE TRAIN}(\text{FINAL TIME}/5), 2*(\text{FINAL TIME}/5), \\ &\text{FINAL TIME}, \text{FINAL TIME}) \text{ (MaturUnits/Month)} \end{aligned} \quad [\text{Eq. 7-28}]$$

$$\begin{aligned} \text{Salto Tecnológico} &= \text{Acción} * \text{PULSE TRAIN}(\text{FINAL TIME}/5), 2*(\text{FINAL TIME}/5), \\ &\text{FINAL TIME}, \text{FINAL TIME}) \text{ (TechUnits)} \end{aligned} \quad [\text{Eq. 7-29}]$$

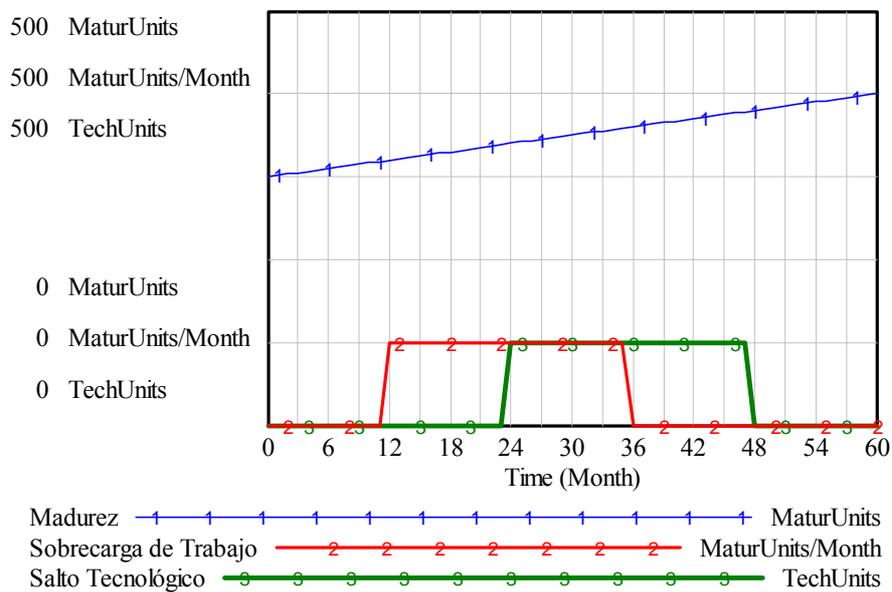


Figura 78. Valores del factor motivacional *Madurez* y de los factores higiénicos *Sobrecarga de Trabajo* y *Salto Tecnológico* para el análisis de sensibilidad del Subdiagrama 2.

De esta forma la acción multiplexada de ambas variables se combina para crear las diferentes situaciones en las que pueden interactuar los tres factores como se muestra en la Figura 79.

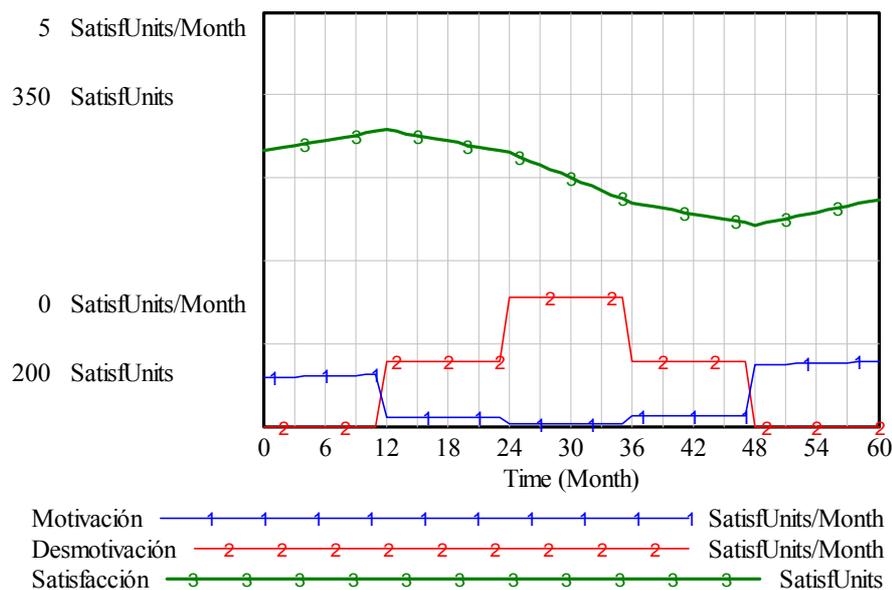


Figura 79. Respuesta de la variable de nivel Satisfacción y de las variables de flujo Motivación y Desmotivación en función de las variables externas de la Figura 78.

Para obtener la respuesta de la Figura 79 hemos ajustado los parámetros que señalan a continuación, de forma que la incidencia de los factores motivacionales, en nuestro caso la **Madurez**, esté atenuada. Téngase en cuenta que la activación de las variables desmotivadoras va a ser eventual y ajustada, mientras la influencia de la **Madurez** se mantiene a lo largo del tiempo. Esto ya lo señalábamos en el capítulo anterior (ver apartado 8.1.1) donde citábamos a Marcie Tyre y Wanda Orlikowski [TYRE94] que identificaban la fase inicial de la introducción de una nueva tecnología como una discontinuidad en lugar de un ajuste suave y continuo.

$$k = 0.125(\text{adimensional}) \quad [Eq. 7-30]$$

$$\text{Tasa de Motivación por Madurez} = 0.0625(\text{SatisfUnits/MaturUnits}) \quad [Eq. 7-31]$$

$$\text{Tiempo de Motivación por Madurez} = 4(\text{Month}) \quad [Eq. 7-32]$$

Seguimos conservando el valor del **Peso Motivacional** con (Eq. 7-26) e igualamos el **Peso Higiénico** al valor del **Peso Motivacional**:

$$\text{Peso Higiénico} = 0.125(\text{adimensional}) \quad [Eq. 7-33]$$

En este contexto, podemos observar en la Figura 79 que en ausencia de factores higiénicos la **satisfacción** aumenta, pero cuando aparece alguno de los factores desmotivadores, **Sobrecarga de Trabajo** o **Salto**

**Tecnológico**, la **satisfacción** disminuye. Y también se puede advertir que en la situación de que ambos factores están activos, la caída es más pronunciada.

Si analizamos los límites de confianza de los coeficientes **Peso Motivacional** y **Peso Higiénico**, podemos observar que el **Peso Motivacional** es más estable que el **Peso Higiénico**. Esto se debe a que el **Peso Higiénico** tiene mayor incidencia ya que influye en ambas variables de flujo **Motivación** y **Desmotivación**, sobre **Desmotivación** actúa directamente y sobre **Motivación** a través de la variable auxiliar **filtro**. Sin embargo, el **Peso Motivacional** sólo interviene sobre la **Motivación**.

Esto lo podemos ver en la Figura 80 y en la Figura 81, donde hemos realizado el análisis de sensibilidad multivariante de ambas variables para las mismas condiciones, con un rango que varía un 50% sobre el valor estimado de **0.125** (*adimensional*),  $\{0.0625, 0.1875\}$ .

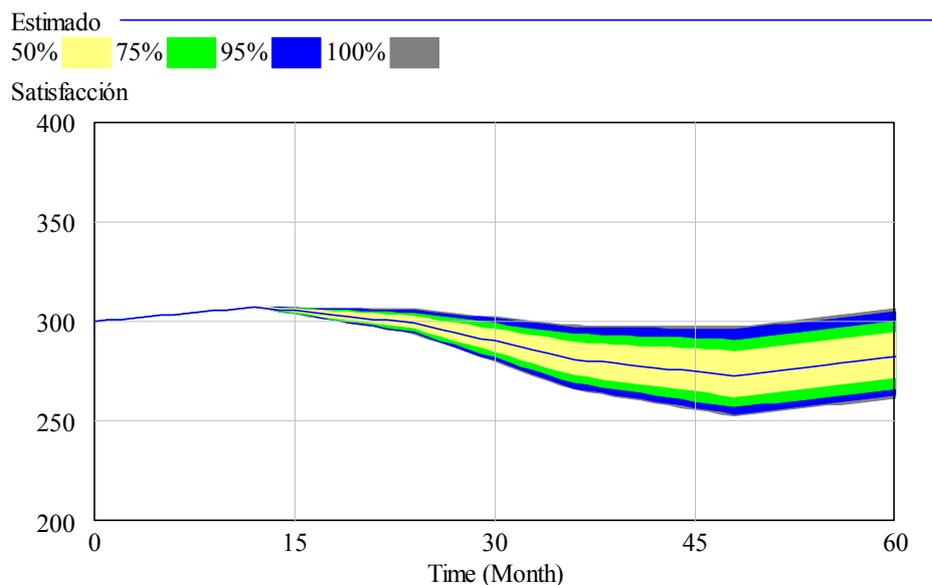


Figura 80. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Higiénico con un valor estimado de 0.125 (*adimensional*) en el rango  $\{0.0625, 0.1875\}$ .

En el caso del **Peso Higiénico** (Figura 80), los límites de la confianza del 95% son estrechos en el principio y anchos en el final del período de la simulación. El rango de prevalencia de la simulación de la sensibilidad del **Peso Motivacional** (Figura 81) es estrecho, lo que indica que la **satisfacción** es poco sensible a la incertidumbre en este parámetro.

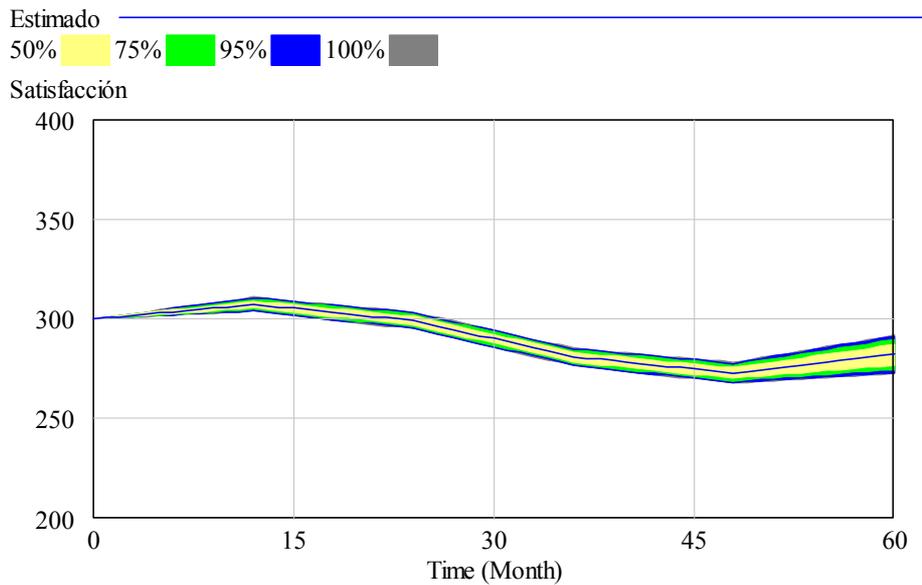


Figura 81. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Motivacional con un valor estimado de 0.125 (adimensional) en el rango {0.0625, 0.1875}.

Por la misma razón, si analizamos los coeficientes de tiempo también podemos comprobar que el **Tiempo de Motivación por Madurez** tiene un margen de confianza mayor que los relacionados con los factores higiénicos, **Tiempo de Desánimo por Burnout** y **Tiempo de Desánimo por Ignorancia**.

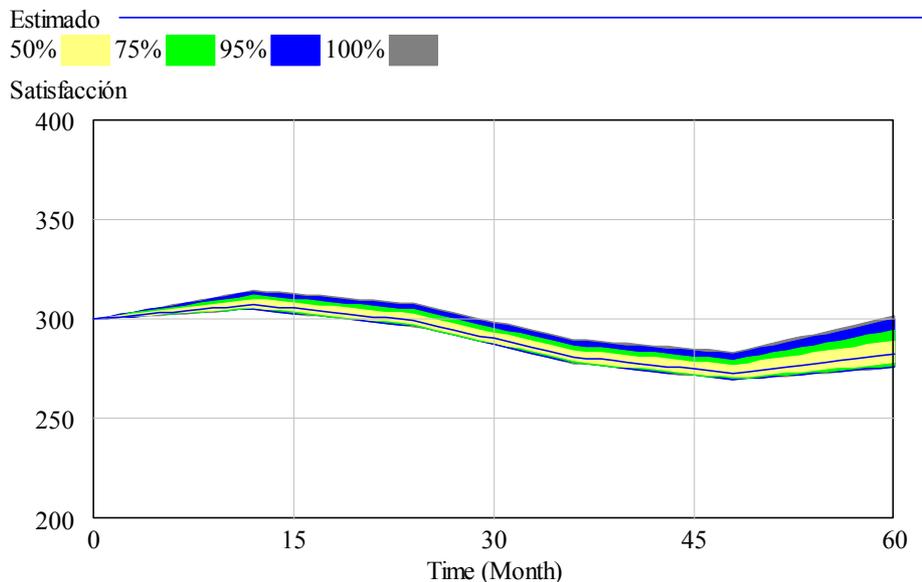


Figura 82. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Motivación por Madurez con un valor estimado de 3 Month en el rango {2, 6}.

En la Figura 82 se muestra el análisis de sensibilidad de la variable de nivel **satisfacción** en función del **Tiempo de Motivación por Madurez** con un rango que varía un 50% sobre el valor estimado de 4 *Month*, {2, 6}.

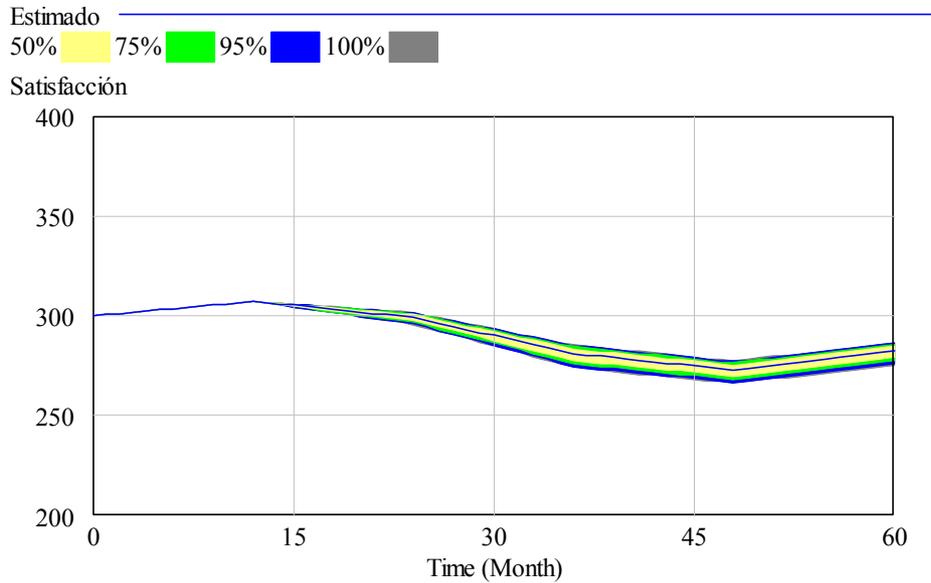


Figura 83. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Desánimo por Burnout con un valor estimado de 2 *Month* en el rango {1.5, 2.5}.

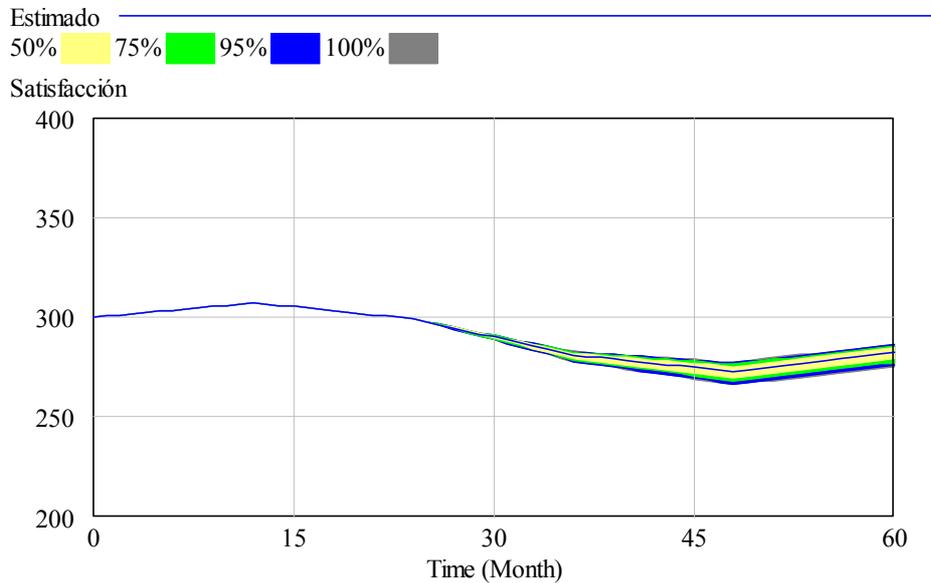


Figura 84. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Desánimo por Ignorancia con un valor estimado de 2 *Month* en el rango {1.5, 2.5}.

Sin embargo, tanto el **Tiempo de Desánimo por Burnout** como el **Tiempo de Desánimo por Ignorancia** necesitan un rango menor para que no se sobrepase el margen de confianza. En ambos casos, con un rango del 25% (dos semanas) sobre el valor estimado de 2 *Month*, {1.5, 2.5} obtenemos una

respuesta razonable, como se puede comprobar respectivamente tanto en la Figura 83 como en la Figura 84.

La diferencia de respuesta entre la Figura 83 y la Figura 84 ante las mismas condiciones, se debe a que hemos considerado que el efecto de la **Sobrecarga de Trabajo** (asociado con el **Tiempo de Desánimo por Burnout**) se produce antes que el del **Salto Tecnológico** (relacionado con el **Tiempo de Desánimo por Ignorancia**), como hemos definido en las ecuaciones *Eq. 7-28* y *Eq. 7-29* (ver Figura 78).

## **7.5 Conclusión**

La Teoría de los Factores de Frederick Herzberg nos indica que los factores desmotivadores o higiénicos no sólo generan insatisfacción sino que bloquean a las acciones motivadoras. En nuestro modelo, la **Madurez** ejerce su influencia positiva sobre la variable nuclear **Satisfacción** cuando no está presente ni la acción de la **Sobrecarga de Trabajo** ni la del **Salto Tecnológico**. Esto supone que los factores higiénicos o desmotivadores tienen mayor efecto sobre el comportamiento del sector que los motivadores, porque estos están mediatizados por aquellos y no al revés. Y, en efecto, se comprueba que el comportamiento del sistema es más sensible ante las fluctuaciones de los dos factores higiénicos: **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**.

Por otro lado, para que el sistema pueda tender al equilibrio, la trascendencia del factor motivador **Madurez**, (en nuestro caso representado con los coeficientes **Tasa de Motivación por Madurez** y **Tiempo de Motivación por Madurez**) debe ser menor que los factores higiénicos porque, al ser la **Madurez** una variable de nivel, su valor se sostiene en el tiempo. Por el contrario, tanto la **Sobrecarga de Trabajo** como el **Salto Tecnológico**, tienen “ventanas de oportunidad” transitorias pero con la intensidad suficiente para repercutir sensiblemente en el comportamiento del sistema.

## **8 Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información**

*“Más mata la duda que el desengaño”.*

*-Proverbio español-*

*“No andes atravesado y no roces tus costados contra la roca mojada, -decía una cangrejo a su hijo-.*

*Madre, -repuso éste-, tú, que quieres instruirme, camina derecha y yo te miraré y te imitaré”.*

*-“El cangrejo y su madre”, Esopo-*

El hilo conductor de este capítulo es el nivel de competencias y habilidades en tecnologías de la información que poseen los individuos de una organización y que hemos denominado **Conocimiento TI**. Los modelos elaborados [MORL05, MORL06a] durante el desarrollo de esta tesis no acababan de satisfacer las percepciones que del problema se recibían, dado que la formación ya se había producido y seguía existiendo una barrera a la adopción del nuevo sistema. El modelo adolecía de la alguna relación que explicara por qué la formación no era suficiente para superar el **salto Tecnológico**. Por ese motivo, el modelo introduce el concepto de rutinas organizacionales defensivas de Argyris y la dicotomía entre la “teoría en uso” y la “teoría expuesta” propuesta por Argyris y Schön. La intención de fomentar el aprendizaje estimula defensas organizacionales que pueden empeorar el problema al generar círculos viciosos, de forma que cuanto más se busca aprender, más sólidas son las barreras para el aprendizaje. En otras palabras, surgen rutinas defensivas, como es el idealismo tecnológico, que imposibilitan una actitud crítica ante las nuevas tecnologías, lo que hemos llamado **Mito Tecnológico**.

## **8.1 Análisis del comportamiento**

### **8.1.1 Correspondencia teórica del conocimiento experto**

El concepto de Conocimiento requeriría un tratado aparte. Sobre el Conocimiento se viene debatiendo desde la Gnoseología<sup>55</sup> de los filósofos griegos hasta la actualidad en que hemos visto el auge de términos como Sociedad del Conocimiento o de disciplinas como la Gestión del Conocimiento que ha pasado a ocupar un papel central y decisivo en la consecución del éxito de las organizaciones y que se ha desarrollado en la confluencia de áreas como la Organización de Empresas, la Economía, la Psicología y la Informática. Además parece que existe un interés especial dentro de la comunidad de los sistemas y tecnologías informáticas donde se percibe como nuevas oportunidades de desarrollo.

La noción de conocimiento ha sido (y es) objeto de numerosas polémicas. Entre las corrientes de investigación existentes en este campo destaca la perspectiva taxonomista que enfoca el conocimiento en una organización de manera pragmática [WEBE13, POLA58, POLA66, KOGU92, NONA94, NONA95, BAUM96, BAUM00, ALAV01]. Max Weber [WEBE13] fue el

---

<sup>55</sup> Gnoseología (del griego *gnosis*, conocimiento, el trascendental, el universal) es la Teoría del Conocimiento. A veces se confunde con Epistemología (del griego *episteme*, también conocimiento pero, según Aristóteles, obtenido mediante la demostración) que se centra en el conocimiento científico, siendo algo más específico que la propia Filosofía de la Ciencia. Esta confusión es debida a un *false friend* del término inglés *Epistemology* que realmente equivale a Gnosología.

primero en distinguir dos tipos de conocimiento: por una parte, el conocimiento relativo a los hechos, disponible en forma de documentos, y por otra parte, la experiencia que permite a quienes la poseen adoptar nuevas reglas de procesamiento facilitando su desarrollo.

Una de las taxonomías más conocidas es la formulada por Ikujiro Nonaka e Hirotaka Takeuchi quienes clasifican el conocimiento en dos tipos: el conocimiento explícito y el conocimiento tácito [NONA94, NONA95]. El conocimiento explícito se codifica con facilidad, es decir, puede ser externalizado. Por el contrario el conocimiento tácito, es un conocimiento no articulado, implícito y difícil de formalizar y comunicar. Dada su complejidad y dado que reside en las personas es difícil de codificar.

El término conocimiento tácito lo acuñó Michael Polanyi al observar que sabemos más de lo que podemos expresar [POLA66]. Fue retomado por Nonaka y Takeuchi pero con un matiz diferente al de Polanyi y que, debido a la fuerte influencia de los textos de Nonaka y Takeuchi, ha sido ampliamente adoptado. Mientras que Polanyi habla del conocimiento tácito como el escenario donde todas las acciones se entienden, Nonaka y Takeuchi utilizan el término para referirse a todo el conocimiento que es difícil de expresar.

Sin embargo, el concepto que ha creado mayor polémica es el de conocimiento explícito porque ¿cuál es la diferencia entre conocimiento explícito e información? Esta cuestión no es baladí y más cuando trabajamos en la frontera de la Informática y de la Gestión del Conocimiento. Según definen Nonaka y Takeuchi [NONA95] el conocimiento explícito es el conocimiento articulado en lenguaje formal que incluye frases gramaticales, expresiones matemáticas, especificaciones, gráficos, manuales o procedimientos. Pero realmente, ese conocimiento codificado, ese conocimiento explícito, no es más que información [STEN02]. La conversión del conocimiento explícito en conocimiento tácito, lo que Nonaka y Takeuchi denominan internalización, no es trivial porque personas de diferentes culturas o de diferentes profesiones no adquirirán el mismo conocimiento [STEN02].

Las tecnologías de la información manejan dicho conocimiento explícito, información, pero no son capaces de tratar el conocimiento tácito, el conocimiento *per se*, simplemente porque el conocimiento tácito no se puede representar. Sólo los individuos con un mismo *background* compartido verdaderamente pueden transferir conocimiento por medio de información [STEN02].

Afortunadamente hoy día está clara la frontera entre información y conocimiento, ya que en los textos iniciales sobre Gestión del Conocimiento no estaba todavía suficientemente definida porque se consideraba a la

información como una forma, una instanciación, del conocimiento. La relación entre información y conocimiento es estrecha a la vez que paradójica porque, si bien las tecnologías de la información han facilitado el desarrollo de la Gestión del Conocimiento, ésta ha desvelado la importancia de los espacios físicos frente a los entornos virtuales, donde los individuos puedan compartir sentimientos, emociones, experiencias y modelos mentales [MORL04].

En definitiva, el conocimiento es intuitivo y difícil de capturar en palabras o de entender plenamente de forma lógica. El conocimiento pertenece a los individuos [ARGY78, NONA95] y como señala Donald Schön, a menudo somos incapaces de comunicar todo lo que sabemos [SCHÖ83]. El conocimiento permite a las personas ser competentes [SVEI01] y los miembros de una organización pueden compartir su conocimiento con mayor facilidad entre sí que con personas de fuera de la misma. Esto es debido a que las creencias y el compromiso varían de una organización a otra, las organizaciones tienen su propia cultura, su propio vocabulario, e incluso dentro de la misma tradición. Gestionar esta socialización del conocimiento se considera como un activo clave que supone una ventaja competitiva sostenible.

El conocimiento lo estamos considerando en dos niveles, el nivel organizacional y el nivel individual. Y más concretamente nos estamos centrando en el conocimiento que sobre tecnologías informáticas posee la organización, que se recoge dentro de la variable **Madurez** y el conocimiento informático que tiene las personas de la organización que se recoge en la variable **Conocimiento TI**.

Por tanto, y como hemos indicado en el primer párrafo del capítulo, el **Conocimiento TI** indica el nivel de competencias y habilidades en tecnologías de la información que poseen los individuos. La intangibilidad del conocimiento hace especialmente difícil su gestión y no lo podemos tratar como una magnitud física que puede ser medida de forma directa, por lo que lo modelamos por medio de una variable *soft*<sup>23</sup>. Por lo tanto, es una variable abstracta que acumula los conocimientos en sistemas y tecnologías informáticas.

Como hemos señalado en el capítulo 5, uno de los indicadores principales de nuestro modelo es el **Salto Tecnológico**, que se ha concebido como una variable auxiliar que muestra la diferencia en el conocimiento informático que tienen los individuos de una organización, **Conocimiento TI**, y el nivel de conocimientos en tecnologías de la información que la organización entiende que los individuos deben poseer para tender hacia una *learning organization*, que en adelante llamaremos **Nivel TI Deseado**.

En consecuencia, definimos la variable **Conocimiento TI** como una variable de nivel mientras que el **Nivel TI Deseado** será una variable auxiliar exógena cuyo valor no es fruto de relaciones de realimentación sino que depende de acciones externas representadas por la variable **Impulso Externo**.

El proceso de acumulación, de aumento, de ese conocimiento es el **Aprendizaje**, es decir, la derivada del **Conocimiento TI** respecto al tiempo. Pero también se considera la pérdida de dicho conocimiento tecnológico que se produce como consecuencia de la rápida evolución de las tecnologías de la información que se recoge en la variable exógena, **Obsolescencia** [MORL06a]. Si bien el **Aprendizaje** es un proceso activo, la **Obsolescencia** es un proceso pasivo de envejecimiento, y de alguna forma inevitable.

Una de las maneras más habituales que tienen las organizaciones de fomentar el aprendizaje es por medio de la **Formación**. Con **Formación** estamos denominando al proceso planificado de instrucción, de capacitación técnica, cuya gestión y factores de intervención se pueden controlar por la organización. La **Formación** es el procedimiento aplicado que permite a los usuarios del sistema informáticos de alto impacto organizacional explorar dicho sistema tanto desde el punto de vista técnico como funcional. Permite a los usuarios obtener experiencia lo que les posibilita explorar la facilidad de uso percibida del sistema. De este modo, como afirman Amoako-Gyampah y Salam (ver apartado 4.7.3), la **Formación** contribuye al establecimiento de la creencia compartida en los beneficios del sistema, a la vez que influye en la facilidad de uso percibida del sistema. Al proporcionar un entorno adecuado en el que los usuarios tienen la posibilidad de interactuar con el nuevo sistema informático, o un prototipo del mismo, la **Formación** es la herramienta que disponen los responsables de la organización para facilitar el desarrollo de creencias que mejoran la actitud que hace aumentar la intención de uso.

El modelo recoge el concepto de rutinas organizacionales defensivas de Argyris y la dicotomía entre la “teoría en uso” y la “teoría expuesta” propuesta por Argyris y Schön. Según Chris Argyris, [ARGY90], a veces existen ciertas rutinas organizacionales defensivas que pueden obstaculizar seriamente la flexibilidad en el uso de la nueva tecnología. En tales situaciones, los intentos de aprendizaje activan defensas organizacionales que pueden empeorar el problema original. La intención de aprender y de innovar en torno a una tecnología solamente provoca círculos viciosos.

Chris Argyris y Donald Schön, [ARGY96], utilizan el término teoría expuesta (*espoused theory*) para referirse a la teoría de la acción que las personas dicen seguir, la que admiten públicamente. Sin embargo, en numerosas ocasiones se

puede observar que las personas no proceden según sus teorías expuestas, lo que indica que existe otro tipo de teoría que denominan teoría en uso (*theory-in-use*). La teoría en uso es lo que realmente se practica, lo que se corresponde con los hechos. La teoría en uso es más o menos congruente con la teoría expuesta dependiendo de que las organizaciones o los individuos expliquen o justifiquen su patrón de actividad, pero los esfuerzos para justificar y dar sentido a las acciones pocas veces concuerdan con la teoría percibida en la realidad. Esta falta de congruencia se produce a menudo sutilmente, sin intención de ocultar o de engañar. Dichas explicaciones están basadas en creencias, valores y actitudes; y a menudo se exterioriza con expresiones tales como procedimientos, estrategias o planes.

Ante el problema detectado de que contrariamente a los resultados deseados y esperados la implementación fracasaba, en [MORL07] se presenta cómo los esfuerzos de aprendizaje dan lugar a círculos viciosos de forma que cuanto más se busca aprender, más sólidas son las barreras para el aprendizaje. Se observa que impulsar valores organizacionales como querer ser una *learning organization*, tienen implicaciones negativas para el aprendizaje. Se observa la existencia de rutinas defensivas como es el idealismo tecnológico con implicaciones negativas para el aprendizaje al dificultar una actitud crítica ante las nuevas tecnologías.

Esto está en consonancia con lo que March subraya sobre que el aprendizaje implica un delicado equilibrio entre la exploración y la explotación, entre la experimentación y el desarrollo y mejora de las competencias, entre la incertidumbre y los resultados positivos [MARC91]. Que coincide con lo que hemos señalado relativo a que la introducción de una nueva tecnología no es en sí mismo una garantía para la exploración [BARL86, CIBO96]. Y como también indicaba Ciborra, la práctica no conduce a otra cosa que a la explotación y al refinamiento continuo del conocimiento existente, y se pierde cierto potencial para el aprendizaje [CIBO96], por lo que se debe mantener cierta actitud de vigilancia a la introducción de nuevas tecnologías. El aprendizaje, por lo tanto, se alcanza si la tecnología se ve como si fuera un extraño, más que como algo dado por sentado y controlado [CIBO97]. En definitiva, si se reduce la capacidad de crítica, de exploración, disminuye la posibilidad de aprender.

Es común encontrar en las organizaciones la visión de ser una organización innovadora que se adapta a un entorno de cambio, buscando una organización más flexible y dinámica, lo que se conoce como *learning organization*. Esto constituye muchas veces un elemento de la teoría expuesta sobre la base de la necesidad percibida de innovación y aprendizaje de tecnologías de la información.

Esto tiende a establecer ciertas rutinas organizacionales defensivas que se justifican por esa *learning organization* expuesta como es idealizar el potencial de las tecnologías de la información. Al existir las condiciones para la adaptación tecnológica con una actitud positiva hacia las tecnologías de la información, los líderes justifican las presumibles actitudes defensivas hacia las tecnologías de la información como consecuencia única de una carencia de conocimientos informáticos, ya que las dudas sobre la tecnología se atribuyen a la ignorancia y, en consecuencia, desde la organización se planifica formación para su prevención [MORL07].

Sin embargo, se crea una rutina organizacional defensiva que Henfridsson denomina elogio la tecnología [HENF00], en el que la tecnología es incuestionable y no hay lugar a disidencias porque la tecnología juega ese papel clave para la visión de una *learning organization*. En consecuencia, no cabe otra explicación a las actitudes defensivas que ese analfabetismo informático ya “previsto”.

Esto provoca comportamientos contraproducentes para el aprendizaje ya que ese idealismo tecnológico, al suponer que cualquier clase de duda significa ignorancia, crea un escenario en el cual la falta de resolución, la vacilación, las dudas y las objeciones se interpretan como ignorancia. La rutina organizativa defensiva acciona al individuo, si no para elogiar, al menos para estar de acuerdo con la directriz sugerida, aunque pudiera pensar que estuviera justificada una aclaración sobre el enfoque o despliegue de la nueva tecnología. Aun teniendo el conocimiento requerido, se tiende a no expresar sugerencias, por no parecer ignorante. Es decir, se evitan discusiones y reflexiones críticas lo que, en definitiva, limita la capacidad de aprender. Consecuentemente, incluso las críticas bien fundadas que podrían ayudar a mejorar la adaptación tecnológica son bloqueadas. En lugar de aprendizaje, la teoría en uso producida por esta rutina organizacional defensiva evita discusiones y reflexiones críticas [MORL07].

Resumiendo, la teoría expuesta de la *learning organization*, produce un círculo vicioso ya que se idealiza el potencial de las tecnologías de la información. En consecuencia, la teoría en uso producida por esta rutina organizacional defensiva evita discusiones y reflexiones críticas, impidiendo el aprendizaje.

Lo que está ocurriendo realmente es que están actuando dos bucles de realimentación en dos planos distintos, uno que corresponde a la teoría expuesta por la estrategia de la organización y la otra la teoría en uso como consecuencia de la defensa organizacional (ver Figura 85).

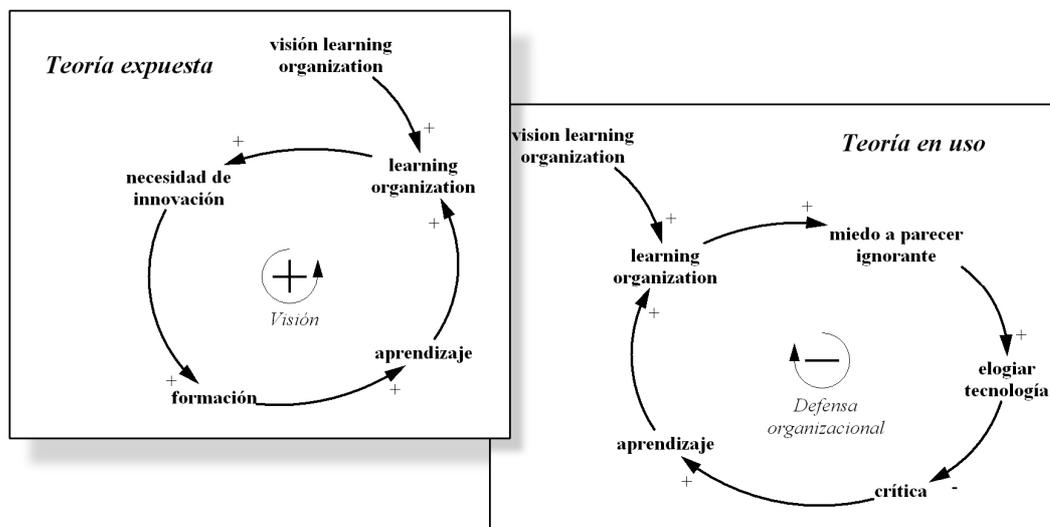


Figura 85. Los dos bucles actúan en dos planos organizacionales diferentes.  
Fuente: [MORL07]

El bucle que se desprende de la política y estrategia que se establece en la organización, que responde a la visión de la misma como una *learning organization*, es un bucle en principio positivo pues pretende que la organización aumente su nivel de **Madurez** organizacional. Se impulsa una visión de ser una *learning organization* que se adapta a un entorno de cambio y que provoca una necesidad de innovación, como consecuencia de ello los líderes planifican una **Formación** que producirá un **Aprendizaje** y en consecuencia una consolidación de esa *learning organization*.

Sin embargo, el bucle que se produce como defensa de la organización que reacciona idealizando el papel de la tecnología, evita cualquier crítica por miedo a parecer ignorante. El miedo hace que se elogie el papel de la tecnología, lo que denominamos **Mito Tecnológico**, esquivando cualquier debate sobre la idoneidad estratégica o práctica del mismo y en consecuencia se impide la capacidad de **Aprendizaje** que hace que dicha organización crezca. Es un bucle negativo que hace que la organización tienda a quedarse como está al evitar cualquier crítica sobre la adopción tecnológica por no parecer incompetentes, aun siendo expertos y teniendo críticas del enfoque o del despliegue de la innovación.

Precisamente, el error de los líderes de una organización es no percibir estos dos planos que hace que no se entienda el porqué de la aparición de ese círculo vicioso que hace que cuanto más se busca aprender para innovar, mayores son las barreras para el aprendizaje. Los líderes sólo ven el plano de su teoría expuesta en el que no se justifica lo que está ocurriendo. Sin embargo, ambos planos interactúan, ambos bucles comparten variables. Por un lado, la variable

**Aprendizaje.** El **Aprendizaje** se produce bien por medio de la **Formación** planificada condicionada por la crítica y debates que se susciten entorno a la nueva adopción. Y por otro, como se explicará en más detalle en el apartado 8.3.1, la **Necesidad Percibida de Formación**, que sintetiza la acción de las variables de la Figura 85, “*visión learning organization*” y “*learning organization*” descritas en [MORL07].

Todo esto está en consonancia con lo indicado en el apartado 6.1.1 cuando hacemos referencia a las bases teóricas que influyen en la Madurez del Sistema de Gestión. Por un lado, cuanto más arraigada es la práctica, más probable es que la tecnología se amolde a lo ya existente, dado que la solidez estructural de la organización determina si se produce o no el aprendizaje como consecuencia de la introducción de una nueva tecnología. [BARL86]. Por otro lado, según razona Claudio Ciborra [CIBO96], una organización no debe dar por sentado que la tecnología recién introducida es algo completamente controlado porque la rutina -la explotación- nos lleva a la profundización y especialización del conocimiento existente, perdiendo capacidad de aprendizaje.

### 8.1.2 Modos de referencia

El modo de referencia Modo D de la Figura 86 refleja el comportamiento aislado de la respuesta del **Conocimiento TI** ante la presión realizada por la organización para aumentarlo representada por la variable **Nivel TI Deseado**.

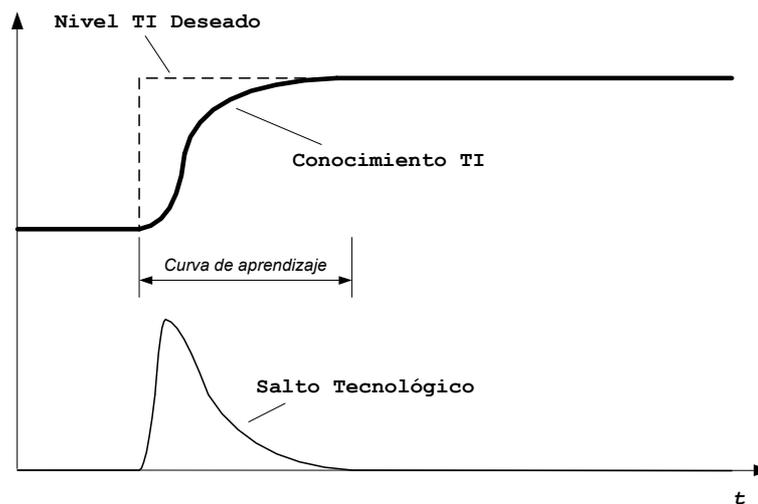


Figura 86. Modo D. Modo de referencia de las variables Conocimiento TI, Nivel TI Deseado y Salto Tecnológico.

La pendiente de la curva depende de diversos factores como la capacidad de aprendizaje del individuo, de la experiencia previa con el objeto de

aprendizaje, del método de enseñanza o del contexto. Pero también influyen variables psicológicas como la motivación, la autoestima o la autoeficacia. En la revisión de la literatura no se han encontrado referencias del periodo que dura la curva de aprendizaje y en nuestro caso hemos considerado una ventana que irá desde los tres meses hasta los dos años.

Con el modo de referencia Modo E de la Figura 87 representamos el comportamiento de la curva de aprendizaje del **Conocimiento TI** en relación a la influencia del efecto del elogio de la tecnología representado por la variable auxiliar **Mito Tecnológico**. El estudio de este comportamiento se presentó en [MORL07] y se podía comprobar que un aumento de la rutina organizacional defensiva no sólo dilataba el periodo de aprendizaje sino que limitaba la capacidad máxima de aprendizaje como se muestra con la línea de trazo grueso en la Figura 87.

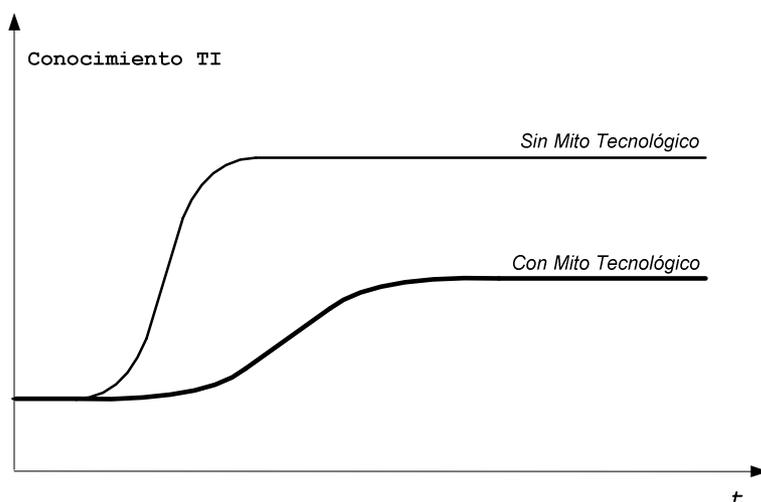


Figura 87. Modo E. Modo de referencia de las variables Conocimiento TI y Mito Tecnológico.

Por último, el modo de referencia Modo F representado en la Figura 88 indica la relación existente entre el **Salto Tecnológico**, la **Satisfacción** y el **Mito Tecnológico**. El comportamiento se muestra para el caso de no existir factores motivacionales, es decir, que suponemos que ante la ausencia inicial de factores higiénicos o desmotivadores, la **satisfacción** (línea fina continua) se mantiene constante. Sólo en el caso de aparecer un factor higiénico, en este caso el **salto Tecnológico** (línea gruesa a trazos), la **satisfacción** disminuirá. Cuando disminuye la **satisfacción**, el individuo es más sensible a la influencia del elogio de la tecnología y a crear rutinas organizacionales defensivas por lo que, en consecuencia, aumentará progresivamente el **Mito Tecnológico** (línea gruesa continua) hasta que la **satisfacción** se estabilice. Por lo tanto debe existir una relación directa entre el **salto Tecnológico** y el **Mito Tecnológico**.

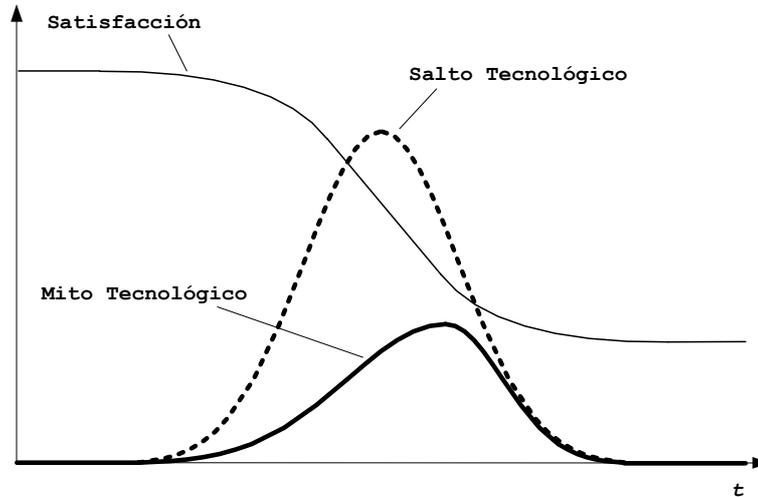


Figura 88. Modo F. Modo de referencia de las variables Salto Tecnológico, Satisfacción y Mito Tecnológico.

## 8.2 Modelo Causal

En la Figura 89 se dibujan los bucles de realimentación que influyen en la variable Conocimiento TI.

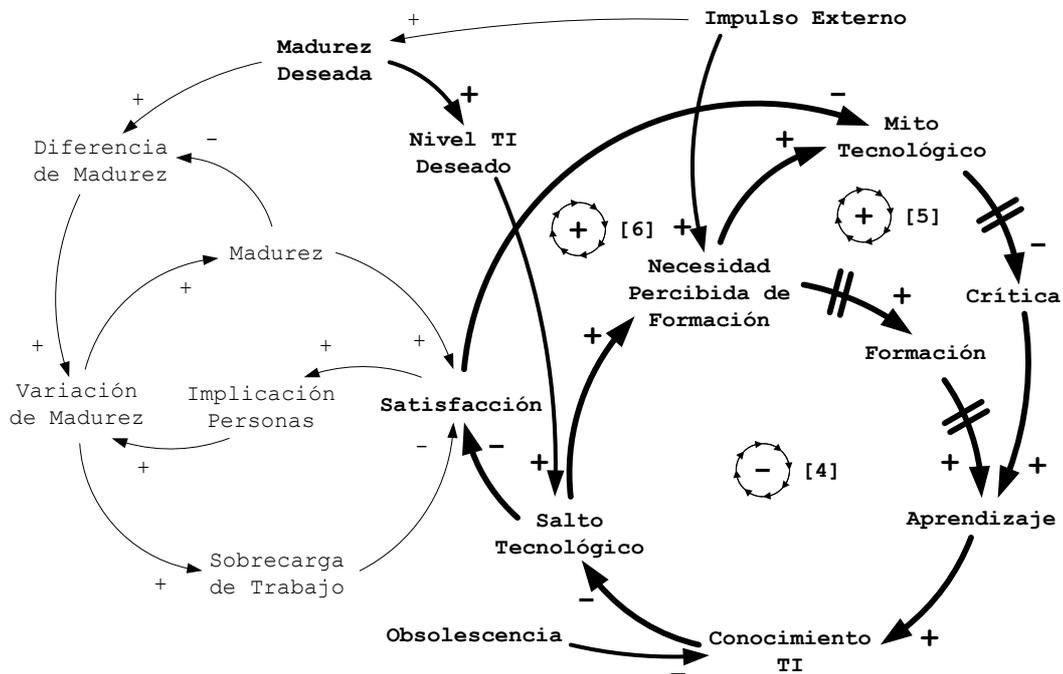


Figura 89. Bucles 4, 5 y 6 del Diagrama Causal.

Estos bucles son los tres últimos:

- Bucle 4. Reducción del Salto Tecnológico por Formación.



Como hemos indicado anteriormente, la **Formación** es una de las herramientas que tienen las organizaciones para estimular el **Aprendizaje**, porque permite a los usuarios obtener experiencia con el nuevo sistema informático y a los gestores dirigir el proceso de capacitación. Durante la fase de captura del conocimiento experto (ver apartado 5.1.1) ya se detectó que el proceso de **Formación** era uno de los elementos clave para regular el **Salto Tecnológico**.

**Aprendizaje** es una variable de flujo que indica el incremento del **Conocimiento TI** por unidad de tiempo, por lo que se medirá en  $TechUnits/t$ . Existe una relación causal directa entre la **Formación** y el **Aprendizaje**, a mayor **Formación** se producirá un mayor **Aprendizaje**. Estamos considerando que tanto la **Formación** como el **Aprendizaje** serán dos variables positivas. Es decir, el proceso de capacitación no tendrá un carácter involucionista, no será un proceso que tienda al analfabetismo.

Sin embargo, hemos considerado el fenómeno de la pérdida o deterioro del conocimiento tecnológico debido la rápida evolución de las tecnologías de la información, que se representa con la variable **Obsolescencia**. La **Obsolescencia** la vamos a modelar como una variable de flujo que indicará la pérdida de **Conocimiento TI** por unidad de tiempo que, al igual que el **Aprendizaje**, se medirá en  $TechUnits/t$ . Si bien el **Aprendizaje** es un proceso dinámico, la **Obsolescencia** será un proceso constante e inevitable.

El **Nivel TI Deseado** es una variable exógena que depende de la **Madurez Deseada**, que a su vez es función del **Impulso Externo**. Como hemos descrito en el capítulo 6, las organizaciones, siguiendo la visión de ser una *learning organization*, establecen un objetivo estratégico que hemos denominado **Madurez Deseada**. Para ello, como hemos detallado en el apartado 8.1.1, se impulsa la necesidad de aprendizaje de tecnologías de la información como herramienta clave para alcanzar dicha visión, por lo que se establece un **Nivel TI Deseado**. Para ello los líderes programan una **Formación** que se traducirá en un **Aprendizaje** y en un fortalecimiento de dicha *learning organization*. Esto supone una teoría expuesta que idealiza el potencial de las tecnologías informáticas promoviendo una actitud positiva y planificando la correspondiente **Formación** que ayude a superar el presumible **Salto Tecnológico**.

Ahora bien, los líderes fomentarán la **Formación** en función de cuál sea su percepción de la magnitud del **Salto Tecnológico**, dado que se mueven el plano de la teoría expuesta. Esta interpretación de la realidad del **Salto Tecnológico**, la representamos con la variable **Necesidad Percibida de**

**Formación.** Esta variable se activará si la organización considera o percibe que supera cierto umbral (**Umbral de Percepción**). Es decir, que el impulso de las actividades de capacitación no depende directamente del **Salto Tecnológico** real, de la teoría en uso, sino que depende de cómo los responsables de la organización perciben que tales necesidades de formación existen. En este caso están condicionadas por una visión apriorística de cuáles son las necesidades tecnológicas, el **Nivel TI Deseado** que en definitiva depende del **Impulso Externo**, de la **Acción** promovida: a mayor impulso (mayor **Acción**), mayor será la **Necesidad Percibida de Formación**. En la relación existente entre la aparición de la **Necesidad Percibida de Formación** y el desarrollo de la **Formación**, suponemos que existe un retardo, que denominaremos **Tiempo de Preparación de la Formación**.

La variable **Necesidad Percibida de Formación** es clave porque condiciona el bucle 5, “Elogio de la tecnología” dado que se traduce en un fomento de la bondad de las tecnologías de la información, lo que provoca una rutina organizacional defensiva que se representa con la variable **Mito Tecnológico** (apartado 8.2.2).

Pero independientemente la formación planificada debida a la teoría expuesta de la visión de ser una *learning organization*, la razón de ser de este bucle es la simulación del proceso de regulación del **Salto Tecnológico**. La propia existencia de un **Salto Tecnológico** genera una demanda de adquisición de las competencias tecnológicas que ayuden a superarlo siempre y cuando superen el **Umbral de Percepción**, que hace que la organización planifique la **Formación**. Y desde que comienza el proceso de **Formación** hasta que se produce el **Aprendizaje** se produce una demora que lo representamos con el parámetro **Tiempo de Adiestramiento**.

En conclusión, el comportamiento nuclear de este bucle 4 de realimentación negativa denominado “Reducción del Salto Tecnológico por Formación” es el que sigue. Un aumento del **Salto Tecnológico** provoca un aumento de la **Necesidad Percibida de Formación** condicionada por cierto umbral apriorístico (**Umbral de Percepción**) que la organización tiene establecido sobre la base del **Impulso Externo**. Esta **Necesidad Percibida de Formación** se traduce en un aumento de la actividad de **Formación**, pero con un retardo debido al **Tiempo de Preparación de la Formación**. Un aumento de la **Formación** supone un aumento de la velocidad de **Aprendizaje** aunque ralentizada por el **Tiempo de Adiestramiento**. Un aumento del **Aprendizaje** hace que aumente el **Conocimiento TI** lo que hace que disminuya el **Salto Tecnológico**, regulando el sistema.

## 8.2.2 Bucle 5. Elogio de la tecnología

El quinto bucle, que hemos denominado “Elogio de la tecnología”, es un bucle de realimentación positiva que hace prevalecer el **Salto Tecnológico** dado que se limita el **Aprendizaje** como consecuencia de la rutina organizacional defensiva en que se reprimen las sugerencias y críticas por miedo a parecer ignorante, constituyendo la teoría en uso como se ha explicado en el apartado 8.1.1. En efecto, el impulso de la **Formación** a la teoría expuesta de la *learning organization* que se recoge con la variable debido **Necesidad Percibida de Formación** (modelado en el bucle 4), provoca círculos viciosos de forma que cuanto más se fomenta aprender, más sólidas son las barreras para el aprendizaje ya que se idealiza el potencial de las tecnologías de la información y, que al suponer que cualquier clase de duda significa ignorancia, reprime las discrepancias con el nuevo sistema.

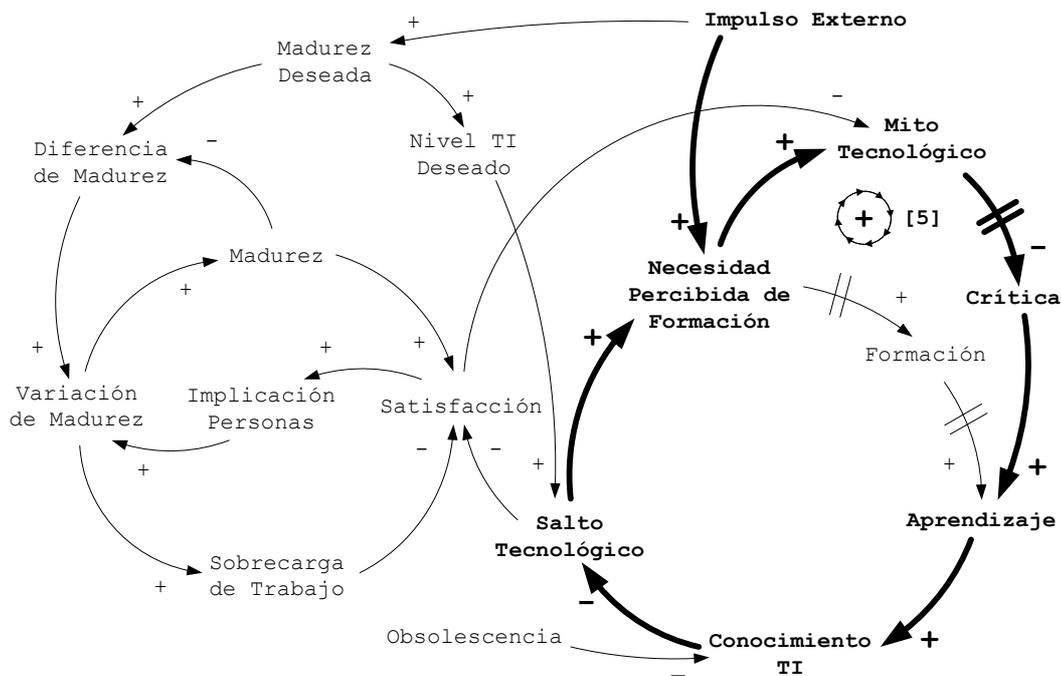


Figura 91. Bucle 5. Elogio de la tecnología.

Como se puede observar en la Figura 91, el bucle se activa con la variable **Necesidad Percibida de Formación** lo que indica que, en el plano de la teoría expuesta, la organización está fomentando una actitud positiva hacia las tecnologías de la información, ante lo que las personas reaccionan idealizándolas en el plano de la teoría en uso. Esto lo hemos recogido con la variable auxiliar **Mito Tecnológico**, que se medirá en *TechUnits*. Un aumento del **Mito Tecnológico** estimula una rutina organizacional defensiva dado que las dudas sobre la tecnología se atribuyen a la ignorancia, el miedo a

parecer incompetente hace que disminuyan las sugerencias y los juicios de valor, lo que representamos con la variable auxiliar **Crítica**. Hemos considerado que se produce una demora desde que se activa el **Mito Tecnológico** hasta que las personas reaccionan y limitan la crítica; o dicho al revés, desde que se debilita la paranoia<sup>57</sup> del **Mito Tecnológico** hasta que se adquiere confianza para opinar. A este retardo lo denominaremos **Tiempo de Reacción**.

Si disminuye la **Crítica**, es decir, si disminuye la exploración entonces disminuye el **Aprendizaje**. Y de manera similar al bucle anterior, un **Aprendizaje** menor hace que el **Conocimiento TI** sea menor lo que implica un **salto Tecnológico** mayor. Y como hemos visto en el capítulo 7, el **salto Tecnológico** es un factor higiénico o desmotivador de la **Satisfacción**, por lo que existe una relación de causalidad negativa entre ambas variables. Dicho de otro modo, un aumento del **salto Tecnológico** hace que disminuya la **Satisfacción**.

Por lo tanto, el bucle “Elogio de la tecnología” se activa con la variable **Necesidad Percibida de Formación** que hace que aumente del **Mito Tecnológico** y, por ende, limite la capacidad de **Crítica**. Esto provoca que disminuya el **Aprendizaje** y, en consecuencia, que se restrinja el **Conocimiento TI**. Lo que induce a aumentar el **salto Tecnológico** lo que acaba realimentando positivamente el **Mito Tecnológico**, al disminuir la **Satisfacción**.

### 8.2.3 Bucle 6. Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción

En la Figura 92 se observa el sexto y último bucle que hemos denominado “Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción”. Es un bucle positivo porque un incremento de la **satisfacción** refuerza ese aumento, o viceversa, una disminución de la **satisfacción** conduce a una disminución de la misma dado que el **Mito Tecnológico** se acentúa disminuyendo la capacidad de **Crítica**.

Como se desprende del apartado 7.1.1, un aumento de la **satisfacción** incrementa la seguridad y la autoestima. Las personas con una autoestima positiva se sienten seguras de sus principios y de sus valores, conocen sus fortalezas y debilidades, confían en su juicio, no se sienten culpables ante los fracasos o las críticas y creen en su capacidad de resolver problemas. Por el

---

<sup>57</sup> Utilizamos el término paranoia en el sentido más popular del mismo como una desconfianza injustificada y desproporcionada, fuera del contexto psiquiátrico donde se considera una enfermedad perteneciente al grupo de trastornos de ideas delirantes.



de Forrester 3. Del Conocimiento TI” y su relación con los otros dos sectores que conforman el Diagrama de Forrester completo. Por una parte está influido por las variables **Impulso Externo**, **Madurez Deseada** y **Satisfacción**; mientras que por otra interviene en el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” con la variable **salto Tecnológico**.

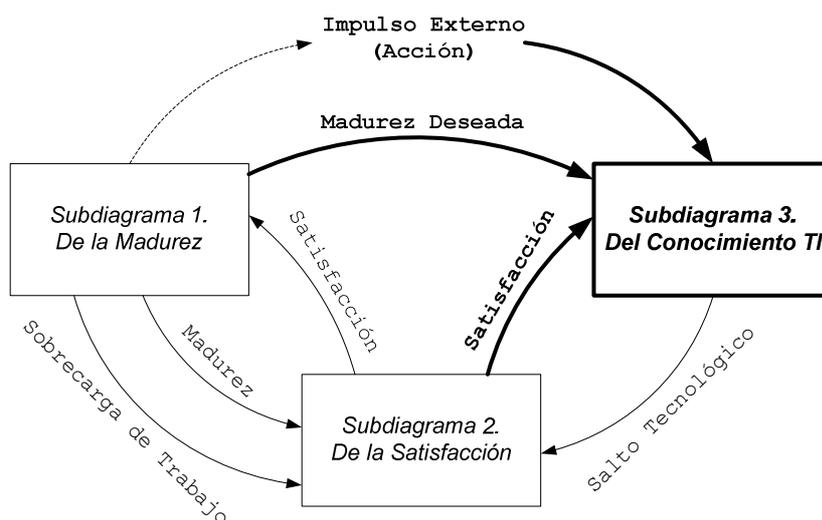


Figura 93. Conexión del Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general.

### 8.3.1 Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI

El sector gira entorno a la variable de nivel **Conocimiento TI** que, como ya hemos definido, mide el grado de competencias y habilidades en tecnologías de la información que poseen los individuos de una organización. Esta variable abstracta mide en *TechUnits*.

El nivel **Conocimiento TI** está controlado por dos variables de flujo, una de entrada, **Aprendizaje**, y otra de salida, **obsolescencia**. Por tanto, ambas se medirán en *TechUnits/t* y la definición de su comportamiento se recoge con la expresión:

$$\text{ConocimientoTI}(t) = \int_{t_0}^t (\text{Aprendizaje}(t) - \text{Obsolescencia}(t))dt \quad [\text{Eq. 8-1}]$$

Expresado de otra forma, la variación del **Conocimiento TI** a lo largo del tiempo es la siguiente derivada:

$$\frac{d(\text{ConocimientoTI}(t))}{dt} = \text{Aprendizaje}(t) - \text{Obsolescencia}(t) \quad [\text{Eq. 8-2}]$$

Lo que se traduce en la siguiente ecuación dinámica:

$$\text{Conocimiento TI} = \text{INTEG}(\text{Aprendizaje} - \text{Obsolescencia}, \\ \text{Conocimiento TI Inicial}) \quad [\text{Eq. 8-3}]$$

Siendo **Conocimiento TI Inicial** el valor de la variable **Conocimiento TI** al inicio de la simulación.

La variable de flujo de entrada **Aprendizaje** y **Obsolescencia** se define de la forma:

$$\text{Aprendizaje} = \text{Tasa de Aprendizaje} * \\ ((\text{Formación} / \text{Tiempo de Adiestramiento}) \\ * \text{Crítica}) \quad [\text{Eq. 8-4}]$$

Como hemos indicado el **Aprendizaje** es un proceso activo que depende de dos procesos, la **Formación** y la **Crítica**. El **Aprendizaje** será una variable positiva, dado que tanto la **Formación** como la **Crítica** los son y que el proceso de pérdida de conocimiento se recoge con la variable de flujo complementaria **Obsolescencia**.

Hemos representado a la **Crítica** como una variable adimensional que actúa como coeficiente que mediatiza el proceso de **Formación**. Partimos de que el proceso de capacitación está impulsado por la organización buscando ser una *learning organization* lo que genera la rutina defensiva que evita cualquier crítica por miedo a parecer ignorante. No contemplamos el proceso de **Crítica** como un proceso complementario de instrucción, sino como un proceso de mayor o menor reacción ante el fomento de la **Formación**; tal y como hemos señalado previamente, la rutina organizacional defensiva evitan discusiones y reflexiones críticas que limita la capacidad de aprender. Es por eso que la variable **Crítica** aparece como un multiplicando de la **Formación** y no como un sumando.

Además, el **Aprendizaje** está ajustado con dos coeficientes. La **Tasa de Aprendizaje** (*adimensional*) indica la facilidad de aprendizaje de las personas durante el proceso de adiestramiento. El **Tiempo de Adiestramiento** es el retardo o tiempo que se necesita para que se produzca un aumento de una unidad de **Conocimiento TI**, un *TechUnit*, desde que comienza el proceso de **Formación**.

La variable de flujo de salida **Obsolescencia** responde a la siguiente ecuación dinámica:

$$\text{Obsolescencia} = (\text{Conocimiento TI} / 1000) * \\ \text{Tasa de Obsolescencia} \quad [\text{Eq. 8-5}]$$

La **Obsolescencia** es un proceso de devaluación del **Conocimiento TI** continuado, pasivo e ineludible, que depende de la constante **Tasa de Obsolescencia**. La **Tasa de Obsolescencia** es un parámetro que indica el ritmo de depreciación, la velocidad con que se olvida o pierde valor una unidad del **Conocimiento TI** (*TechUnits*) y se medirá en  $t^{-1}$ . Dado que estamos considerando que el rango de valores del nivel **Conocimiento TI** oscila entre 0 y 1000 *TechUnits* (ver apartado 5.1.3), la **Obsolescencia** ( $TechUnits/t$ ) será el resultado del producto de la unidad de **Conocimiento TI** (*TechUnits*), **Conocimiento TI** / 1000, y de la **Tasa de Obsolescencia** ( $t^{-1}$ ); es decir, a mayor **Conocimiento TI**, mayor será la velocidad de disminución del mismo, se depreciará más conocimiento por unidad de tiempo.

En la Figura 94 se detalla el “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI”, donde se puede observar que además de la variable de nivel **Conocimiento TI** existe una variable auxiliar clave para entender este sector, la **Necesidad Percibida de Formación**.

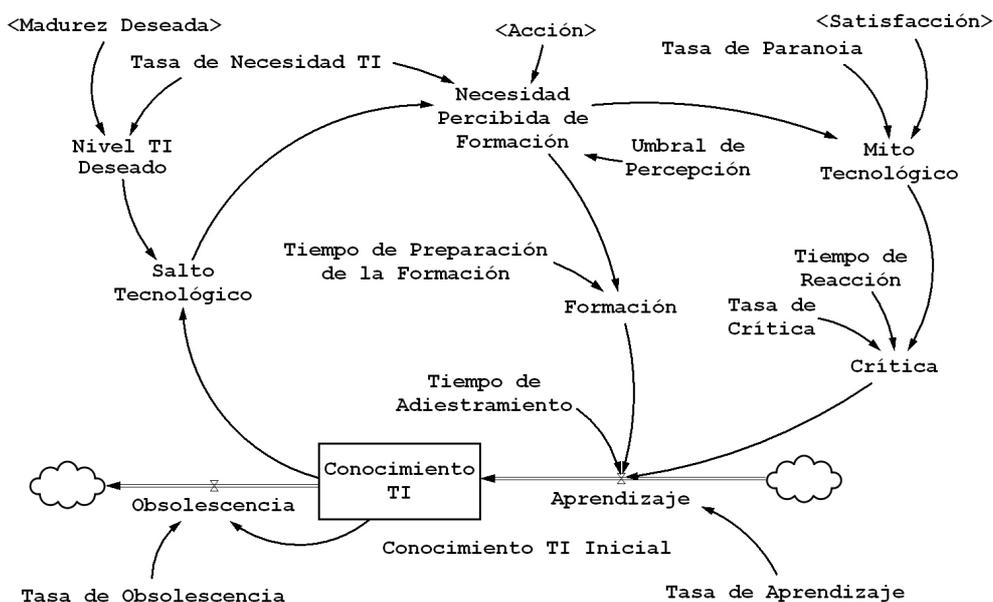


Figura 94. Detalle del Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI.

Como se puede leer con mayor detalle en los apartados 8.2.1 y 8.2.2, donde se describen los bucles 4 y 5, en el plano de la teoría expuesta, los líderes promueven una actitud positiva hacia las tecnologías de la información estableciendo un apriorístico **Nivel TI Deseado** cuya divergencia con el **Conocimiento TI** es el **Salto Tecnológico**. El **Nivel TI Deseado** depende de la **Madurez Deseada**, dado esa fomento de las tecnologías lo realizan para obtener ese grado de adopción del nuevo sistema que representa

la **Madurez Deseada** (*MaturUnits*), por tanto la variable **Nivel TI Deseado** (*TechUnits*) se define como:

$$\text{Nivel TI Deseado} = \text{Madurez Deseada} * \text{Tasa de Necesidad TI} \quad [Eq. 8-6]$$

Donde la **Tasa de Necesidad TI** es la percepción apriorística por parte de la organización de la cantidad **Conocimiento TI** que las personas necesitan adquirir para aumentar un *MaturUnit* la **Madurez** del nuevo sistema de gestión y se medirá en *TechUnits/MaturUnits*.

En consecuencia, la variable auxiliar **Salto Tecnológico** (*TechUnits*) se define como diferencia entre ese **Nivel TI Deseado** (*TechUnits*) y el **Conocimiento TI** (*TechUnits*):

$$\text{Salto Tecnológico} = \text{MAX}(\text{Nivel TI Deseado} - \text{Conocimiento TI}, 0) \quad [Eq. 8-7]$$

Como en otras variables relacionadas con el **Conocimiento TI**, es una variable que no se considera que pueda ser negativa porque en el caso de que el **Conocimiento TI** superara al **Nivel TI Deseado** no tiene sentido, al menos en una organización inteligente, que los líderes inicien un proceso para depreciar la capacitación en tecnologías informáticas que tengan las personas de su organización.

Como hemos señalado, la **Necesidad Percibida de Formación** es nuclear al subdiagrama porque, por un lado recoge las influencias del **salto Tecnológico** y del **Impulso Externo** a través del parámetro **Acción**, y por otro repercute directamente en las dos variables que dan sentido al comportamiento descrito en el apartado 8.1.1 de este capítulo: la **Formación** y el **Mito Tecnológico**. Pero además, esta variable auxiliar representa la conexión entre los dos planos representados en la Figura 85, el plano de la teoría expuesta por la visión estratégica de la organización y el plano de la teoría en uso de la defensa organizacional que idealiza la tecnología por miedo a parecer ignorante.

El comportamiento de la variable **Necesidad Percibida de Formación** (*TechUnits*) lo hemos definido con la ecuación:

$$\text{Necesidad Percibida de Formación} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Salto Tecnológico} > (\text{Acción} * \text{Umbral de Percepción}), \text{Acción}, 0) * \text{Tasa de Necesidad TI} \quad [Eq. 8-8]$$

Podemos observar que esta función no será negativa dado que hemos considerado que el proceso de capacitación no tendrá un carácter involucionista, no será un proceso que tienda al analfabetismo. Por lo que, como hemos apuntado anteriormente, tanto la variable **Formación** (que depende directamente de la **Necesidad Percibida de Formación**) como la variable de flujo **Aprendizaje** (que a su vez es función directa de la **Formación**) serán positivas.

La **Necesidad Percibida de Formación** (*TechUnits*), al ser una variable apriorística que surge en el plano de la teoría expuesta, indica la percepción que tienen los líderes de la organización de las necesidades de formación que tienen las personas de la misma. En la Figura 95 se representa esta idea. En el plano de la teoría expuesta sólo se percibe la necesidad de formación (zona rallada) por encima de cierto umbral del **salto Tecnológico** del plano de la teoría en uso. De forma que por debajo de su percepción, dado que no se advierte el plano de la teoría en uso, la organización no impulsará la formación. Por lo tanto, existe un umbral, el **Umbral de Percepción** (*TechUnits/MaturUnits*) que hemos señalado en el apartado 8.2.1 al describir el bucle 4 “Reducción del Salto Tecnológico por Formación”, que significa el porcentaje con respecto a la **Acción** (*MaturUnits*) del **Impulso Externo** por debajo de la cual los líderes no perciben la necesidad de promover un proceso de **Formación** (*TechUnits*). En consecuencia, se impulsará la **Formación** cuando se perciba que el **salto Tecnológico** es mayor que la relación **Acción \* Umbral de Percepción**.

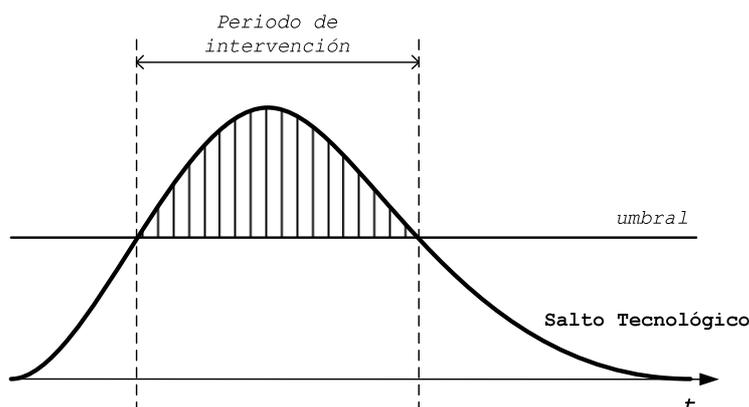


Figura 95. Percepción de la necesidad de formación en el plano de la teoría expuesta.

En definitiva, la **Necesidad Percibida de Formación**, en el caso de que se active, se define como la **Acción** (*MaturUnits*) del **Impulso Externo** ajustada con la cantidad de formación estimada para aumentar la **Madurez** del sistema, la **Tasa de Necesidad TI** (*TechUnits/MaturUnits*). Lo que equivaldría a la ecuación:

$$\text{Necesidad Percibida de Formación} = \text{Acción} * \text{Tasa de Necesidad TI} \quad [\text{Eq. 8-9}]$$

La **Formación**, como también hemos descrito en el apartado 8.2.1, es la razón de ser del bucle 4, “Reducción del Salto Tecnológico por Formación”, que simula el proceso de disminución del **Salto Tecnológico**. Independientemente de la formación planificada *a priori* en el plano de la teoría expuesta de la visión de una *learning organization*, la propia existencia de un **salto Tecnológico** genera una demanda de adquisición de las competencias tecnológicas que ayuden a superarlo. Desde que se detecta dicha demanda de formación, o dicho de otro modo, desde que se supera el referido **Umbral de Percepción** y se activa la variable **Necesidad Percibida de Formación**, hasta que se organiza el proceso de formación se produce un retraso que denominaremos **Tiempo de Preparación de la Formación** ( $t$ ). Por tanto la variable **Formación** (*TechUnits*) se define como:

$$\text{Formación} = \text{SMOOTH}(\text{Necesidad Percibida de Formación}, \text{Tiempo de Preparación de la Formación}) \quad [\text{Eq. 8-10}]$$

Por tanto, desde que se activa la **Necesidad Percibida de Formación** hasta que se produce el **Aprendizaje**, se suceden dos demoras: el **Tiempo de Preparación de la Formación** y el **Tiempo de Adiestramiento**.

La variable **Mito Tecnológico** (*TechUnits*) conecta los bucles 5 y 6 (ver Figura 89) y representa la idealización del potencial de las tecnologías de la información. Como hemos descrito, la teoría expuesta de una *learning organization* provoca círculos viciosos de forma que cuanto más se quiere fomentar el aprendizaje, se generan barreras más sólidas para el mismo ya que se elogia el valor de las nuevas tecnologías, que al presuponer que cualquier clase de duda significa ignorancia, aplacando los juicios sobre el nuevo sistema.

Según nos indica el bucle 5, “Elogio de la tecnología”, existe una relación directa entre el **Mito Tecnológico** (*TechUnits*) y la **Necesidad Percibida de Formación** (*TechUnits*). Mientras que según el bucle 6, “Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción”, el **Mito Tecnológico** (*TechUnits*) mantiene una relación inversa con la **satisfacción** (*SatisfUnits*). Esto queda reflejado en la ecuación de la forma:

$$\text{Mito Tecnológico} = \text{Necesidad Percibida de Formación} * \text{Tasa de Paranoia} * (0.5 - (\text{satisfacción} / 2000)) \quad [\text{Eq. 8-11}]$$

Donde la relación inversa entre la **satisfacción** y el **Mito Tecnológico** se representa con la siguiente ecuación, siendo  $x$  la **Satisfacción**:

$$f(x) = 0,5 - \frac{x}{2000} \quad [Eq. 8-12]$$

Cuyo comportamiento lo podemos apreciar en la Figura 96. De forma que para el rango de valores en que hemos supuesto que se moverá la variable **Satisfacción**,  $\{-1000, +1000\}$ , la función tendrá una respuesta en el rango  $\{0,1\}$ . De forma que para un valor mínimo de la **Satisfacción** de  $-1000$  *SatisfUnits*, la respuesta del **Mito Tecnológico** será la máxima, 1. Por el contrario, para una **satisfacción** total,  $+1000$  *SatisfUnits*, el **Mito Tecnológico** será nulo.

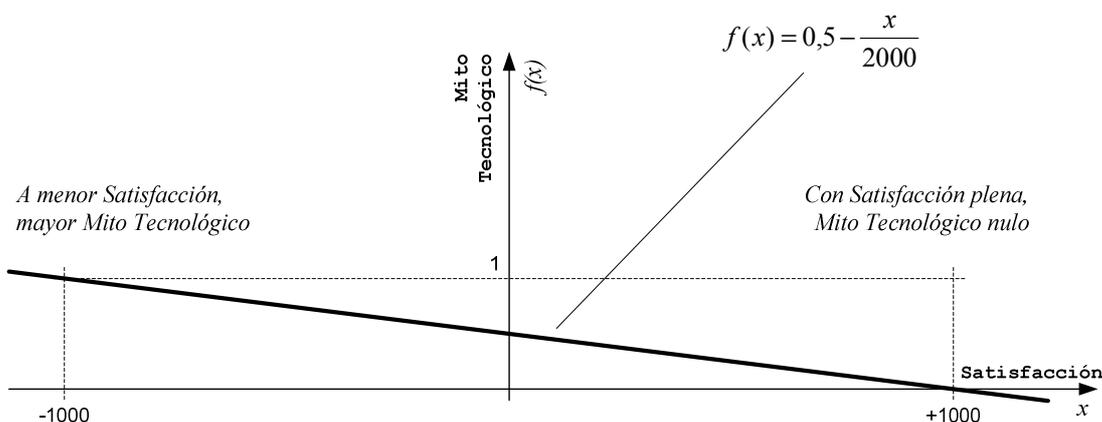


Figura 96. Relación inversa entre la Satisfacción y el Mito Tecnológico.

El coeficiente **Tasa de Paranoia** ( $1/SatisfUnits$ ) indica el nivel de sensibilidad de los individuos ante la influencia del **Mito Tecnológico** sobre la base de la **satisfacción**. Así, personas con una autoestima mayor tendrán una **Tasa de Paranoia** más baja, es decir, serán menos paranoicas.

La variable **Crítica** (*adimensional*) mantiene una relación de causalidad inversa con el **Mito Tecnológico**. Es decir, que cuando aumenta el **Mito Tecnológico** se activa la rutina organizacional defensiva que hace que se reduzcan las valoraciones y sugerencias sobre el nuevo sistema por miedo a parecer incompetente, ya que las dudas se asocian a un analfabetismo tecnológico. Esta relación la representamos con la función de la Eq. 8-13, de forma que en ausencia de Elogio de la Tecnología, la capacidad de **Crítica**

tenderá a ser máxima como se puede apreciar en la Figura 97. El rango en que se mueve el **Mito Tecnológico** es  $\{0,100\}$ <sup>58</sup>.

$$f(x) = 1 - \frac{x}{100} \quad [Eq. 8-13]$$

Como hemos señalado en el apartado 8.2.2, consideramos que existe un retardo, **Tiempo de Reacción** ( $t$ ), desde que decae el **Mito Tecnológico** hasta que se adquiere confianza para criticar. Por tanto:

$$\text{Crítica} = \text{SMOOTH}((1 - (\text{Mito Tecnológico} / 100)) * \text{Tasa de Crítica}, \text{Tiempo de Reacción}) \quad [Eq. 8-14]$$

La **Tasa de Crítica** ( $1/\text{TechUnits}$ ) indica la proporción de la capacidad de **Aprendizaje**, de aumento del **Conocimiento TI**, por unidad de **Mito Tecnológico**.

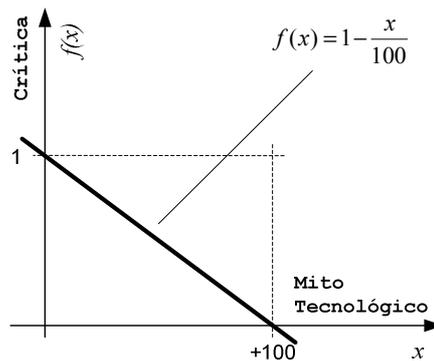


Figura 97. Relación inversa entre el Mito Tecnológico y la Crítica.

La variable **Crítica**, está diseñada como un coeficiente que regula el proceso de **Aprendizaje** (ver *Eq. 8-4*), de ahí que sea una variable *adimensional* cuyo rango de valores estimado es  $\{0,1\}$ .

## 8.4 Validación del sector

### 8.4.1 Reproducción del comportamiento previsto

Como en los dos capítulos anteriores (ver apartados 6.4.1 y 7.4.1) utilizamos el mes (*Month*) como unidad de simulación (**TIME STEP**). Para verificar este Subdiagrama hemos establecido un horizonte temporal (**FINAL TIME**) de 100 meses y hemos considerado que la decisión de implantar el nuevo sistema sea

<sup>58</sup> El valor máximo que tomará el **Mito Tecnológico** es 100 porque depende de la **Necesidad Percibida de Formación** que a su vez depende de la **Acción del Impulso Externo** que hemos establecido en 100 *MaturUnits* (una décima parte del valor máximo de la **Madurez**), como hemos considerado también en la *Eq. 8-15*.

a los 30 meses. De esta forma dejamos un periodo reacción de un poco más de 5 años (70 meses) que corresponde a un periodo teórico de planificación estratégica (ver apartado 6.1.2).

En general, para comprobar la correspondencia entre el “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI” y los respectivos modos de referencia (apartado 8.1.2) hemos asignado el siguiente valor constante a la variable que no forma parte de este subdiagrama:

$$\text{Acción} = 100(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 8-15}]$$

Para simular el comportamiento del cambio de **Nivel TI Deseado** como consecuencia de la **Acción del Impulso Externo**, hemos definido la **Madurez Deseada** como una función escalón, que el instante 30 (*Month*) pasará de ser 300 a 400, dado que la **Acción** la hemos definido como 100 *MaturUnits* (ver *Eq. 8-15*). Por tanto la variable proveniente del Subdiagrama 1, **Madurez Deseada** (*MaturUnits*), la hemos definido con la ecuación siguiente:

$$\text{Madurez Deseada} = 300 + \text{STEP}(\text{Acción}, 30) \quad [\text{Eq. 8-16}]$$

Por último, y para mantener la regularidad en el comportamiento de partida, hemos inicializado la variable de nivel nuclear a este Subdiagrama, **Conocimiento TI**, de la forma:

$$\text{Conocimiento TI Inicial} = 300(\text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 8-17}]$$

Los modos de referencia Modo D (Figura 86) y Modo E (Figura 87) muestran el comportamiento de los bucles 4 y 5. Sin embargo, el Modo F (Figura 88) define el comportamiento del bucle 6 donde está implicada la variable **satisfacción**. Por lo que, de cara a la validación del modo de referencia Modo F tendremos que hacer un tratamiento específico de la influencia de dicha variable **satisfacción** que, como hemos descrito en el capítulo 7, responde de distinta manera según concurren factores higiénicos o desmotivadores o factores motivacionales. Por esta razón analizaremos la conformidad con los modos de referencia de manera gradual, en primer lugar analizaremos conjuntamente los dos primeros modos de referencia en los que la variable **satisfacción** permanecerá constante y en segundo lugar incluiremos la relación entre la **satisfacción** y el factor higiénico **salto Tecnológico**.

#### 8.4.1.1 Bucles 4 y 5

Para este primer paso, y de cara a que su efecto esté compensado en relación a las consideraciones de las ecuaciones *Eq. 8-15* a *Eq. 8-17*, hemos definido el siguiente valor constante a la variable procedente del Subdiagrama 2:

$$\text{Satisfacción} = 300(\text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 8-18}]$$

El modo de referencia Modo D (Figura 86) representa el comportamiento aislado de la respuesta del **Conocimiento TI** en relación a la variable **Nivel TI Deseado**. En otras palabras, se trata de analizar el efecto del bucle 4, “Reducción del Salto Tecnológico por Formación”, dado que refleja el plano de la teoría expuesta, debemos aislado de los otros dos bucles, el bucle 5, “Elogio de la tecnología”, y el bucle 6, “Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción”.

Por tanto, para aislarlo del efecto del **Mito Tecnológico** y de la **Crítica** (bucles 5 y 6) y de la **satisfacción** (bucle 6), basta con que ajustemos la definición de ecuación dinámica referida a la variable **Aprendizaje**, *Eq. 8-4*, haciendo que la **Crítica** sea el valor constante 1 de la forma:

$$\begin{aligned} \text{Aprendizaje} = & \text{Tasa de Aprendizaje} * \\ & ((\text{Formación} / \text{Tiempo de Adiestramiento}) \\ & * 1) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 8-19}]$$

Además, para poderlo verificar en las condiciones ideales, también inhabilitamos el efecto de la variable de flujo **Obsolescencia** anulando el valor de la **Tasa de Obsolescencia**.

$$\text{Tasa de Obsolescencia} = 0(1/\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-20}]$$

Ajustamos los siguientes parámetros de la forma:

$$\text{Tasa de Aprendizaje} = 1(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 8-21}]$$

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-22}]$$

$$\text{Tiempo de Preparación de la Formación} = 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-23}]$$

$$\text{Tasa de Necesidad TI} = 1(\text{TechUnits/MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 8-24}]$$

Para estas constantes, el valor que corresponde al **Umbral de Percepción** para que el comportamiento se ajuste al modo de referencia es **0.75** *TechUnits/MaturUnits* (ver Figura 100).

En estas condiciones, la Figura 98 muestra el comportamiento buscado en el modo de referencia Modo D (Figura 86).

Y en la Figura 99 se muestra con la línea de trazo más grueso cuál sería el comportamiento de la variable **Necesidad Percibida de Formación** para dichas condiciones.

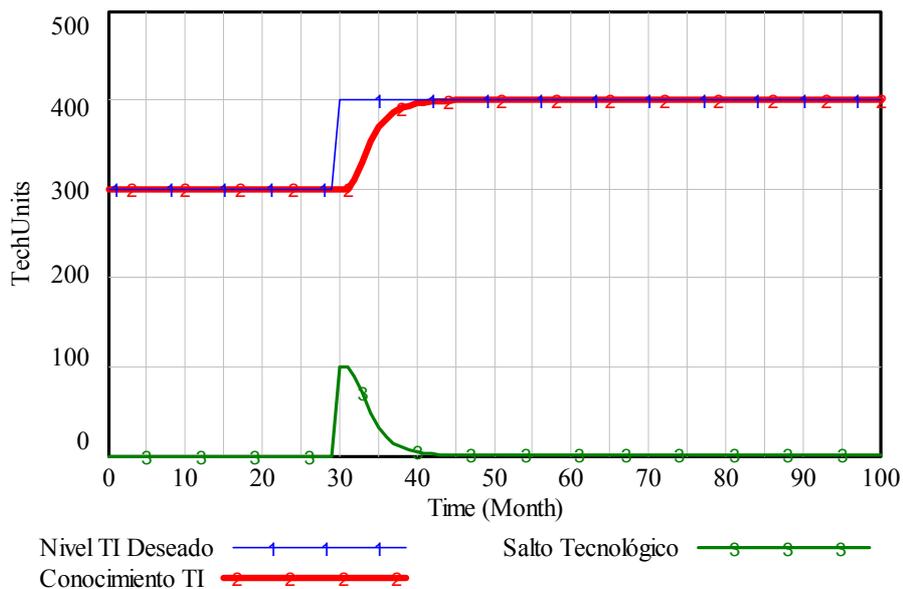


Figura 98. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86).

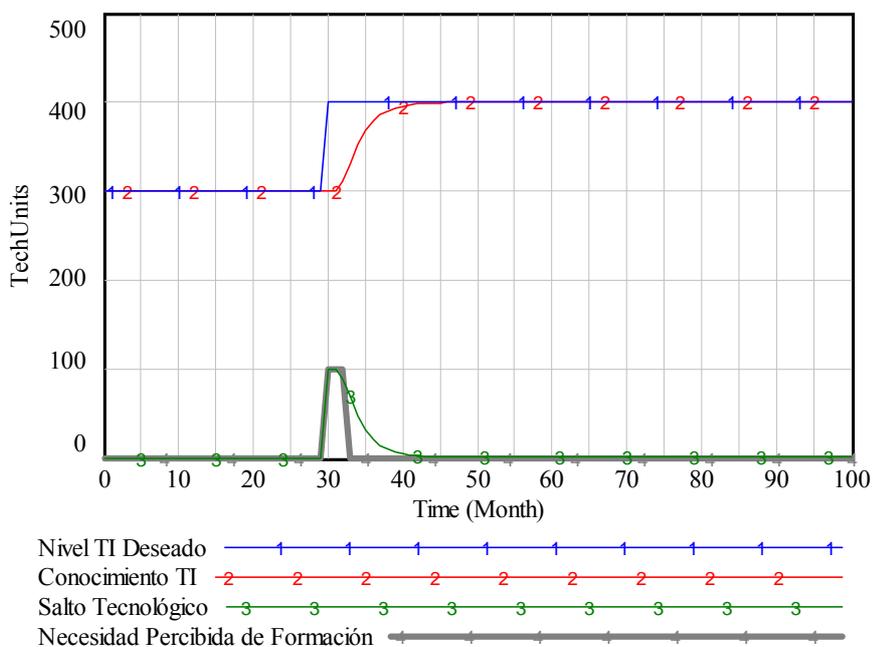


Figura 99. Comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación en las condiciones que verifican el modo de referencia Modo D (Figura 86).

En la Figura 100 mostramos la respuesta del **Conocimiento TI** para distintos valores del **Umbral de Percepción**. Los valores van desde una observación meticulosa y cercana (0.00) hasta una percepción más tolerante (0.75). Podemos observar que enfoques más minuciosos en el plano de la teoría expuesta, podría llevar a un exceso de formación (todo esto aislado del efecto del **Mito Tecnológico**).

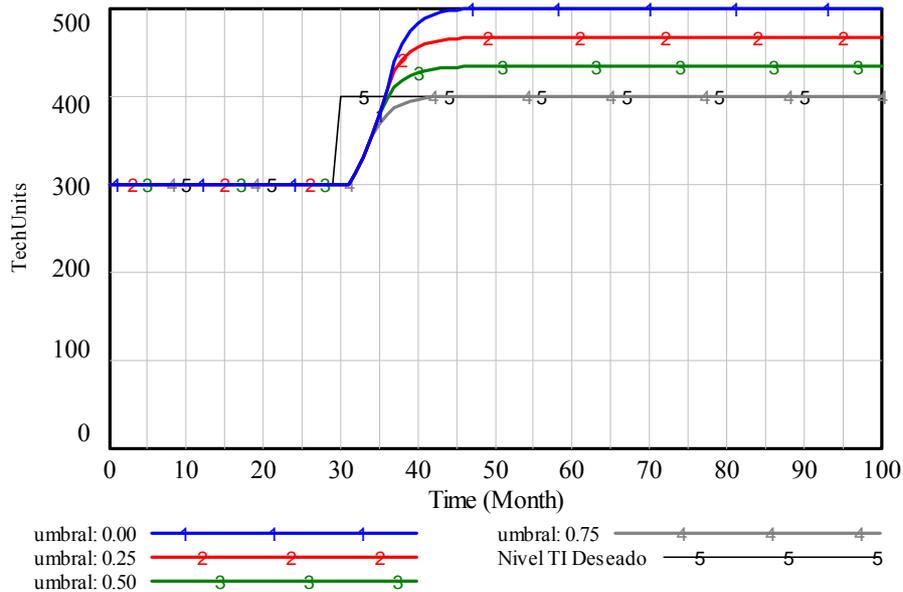


Figura 100. Comportamiento del Conocimiento TI en función de distintos valores del parámetro Umbral de Percepción.

El modo de referencia Modo D (Figura 86) que acabamos de analizar, está relacionado con el bucle 4, mientras que el siguiente modo de referencia, Modo E (Figura 87), concierne al bucle 5.

Es decir, el modo de referencia Modo E (Figura 87) compara las curvas de aprendizaje del **Conocimiento TI** para los dos casos en que se tiene y no se tiene en cuenta la influencia de la rutina defensiva representada por la variable auxiliar **Mito Tecnológico**.

Para ello recuperamos la definición inicial de la variable de flujo **Aprendizaje** de la Eq. 8-4 para que la **Crítica** influya en ella (en lugar de la Eq. 8-19) y mantenemos los mismos valores de los coeficientes del modo de referencia anterior (ver Eq. 8-20, Eq. 8-21, Eq. 8-22, Eq. 8-23 y Eq. 8-24), mantenemos el valor del **Umbral de Percepción** en 0.75  $TechUnits/MaturUnits$  y establecemos los siguientes valores:

$$Tasa\ de\ Paranoia = 1(1/SatisfUnits) \quad [Eq. 8-25]$$

$$\text{Tasa de Crítica} = 0.5(1/\text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 8-26}]$$

$$\text{Tiempo de Reacción} = 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-27}]$$

En la Figura 101 podemos comprobar ambos comportamientos. Con la línea con el trazo numerado con el 2 vemos la respuesta sin tener en cuenta el efecto de la variable **Mito Tecnológico** (mostrado en la Figura 98). Con la línea con el 3 se observa el comportamiento del Subdiagrama 3 completo, es decir, teniendo en cuenta la influencia de la rutina defensiva del plano de la teoría en uso.

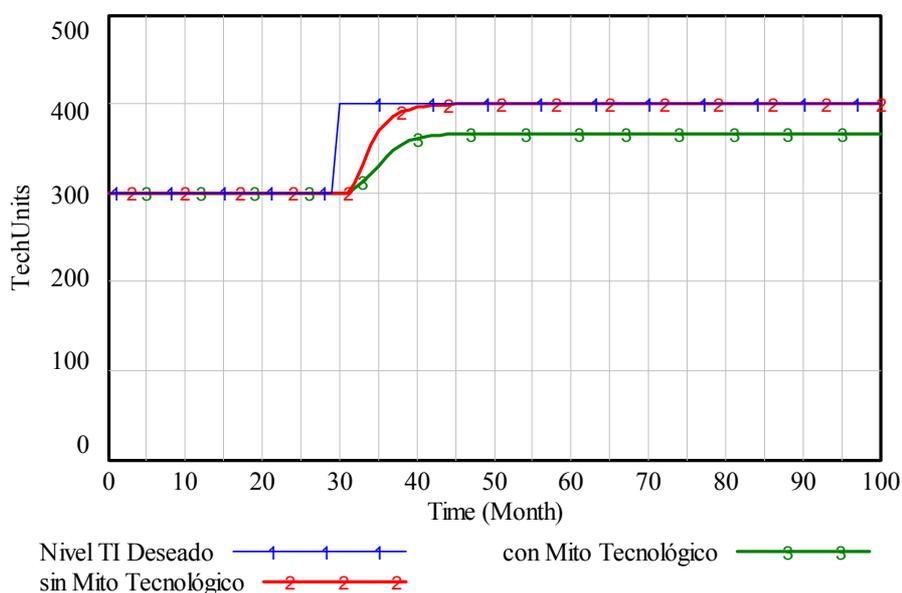


Figura 101. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87).

Con ello comprobamos el modo de referencia Modo E (Figura 87) que nos indica que dicha rutina defensiva limita la capacidad de aprendizaje a la vez que ralentiza el periodo de aprendizaje.

En la Figura 102 podemos comparar las derivadas de las dos curvas de aprendizaje. Si comparamos el caso del Subdiagrama 3 completo en el que se tiene en cuenta la rutina defensiva ante el idealismo tecnológico, representada con línea señala con el número 2, con el caso aislado de dicha rutina defensiva, podemos observar que la velocidad de aprendizaje es menor y sin embargo la ventana de actividad es la misma. Eso quiere decir que debido al efecto de la rutina organizacional defensiva se limita la capacidad de **Aprendizaje** ya que el miedo parecer ignorante retrae las reflexiones y la **Crítica**, por lo tanto el descenso del **Salto Tecnológico** es más suave prolongándose el momento en que se llega al **Umbral de Percepción**, y en consecuencia se prolonga la **Necesidad Percibida de Formación**,

haciendo que se mantenga el efecto de la rutina defensiva, hasta que se alcanza el referido umbral. En este momento la organización deja de idealizar el potencial de las tecnologías de la información ya que considera que se está superando el analfabetismo tecnológico.

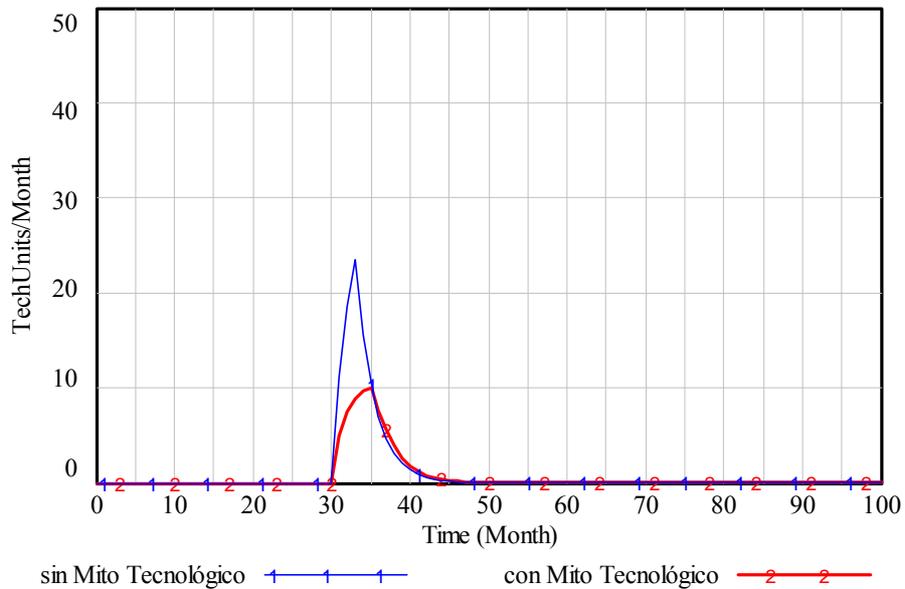


Figura 102. Variación del comportamiento de las curvas de aprendizaje asociadas al modo de referencia Modo E (Figura 87) en dos condiciones diferentes: (1) sin tener en cuenta el Mito Tecnológico y (2) considerando su influencia.

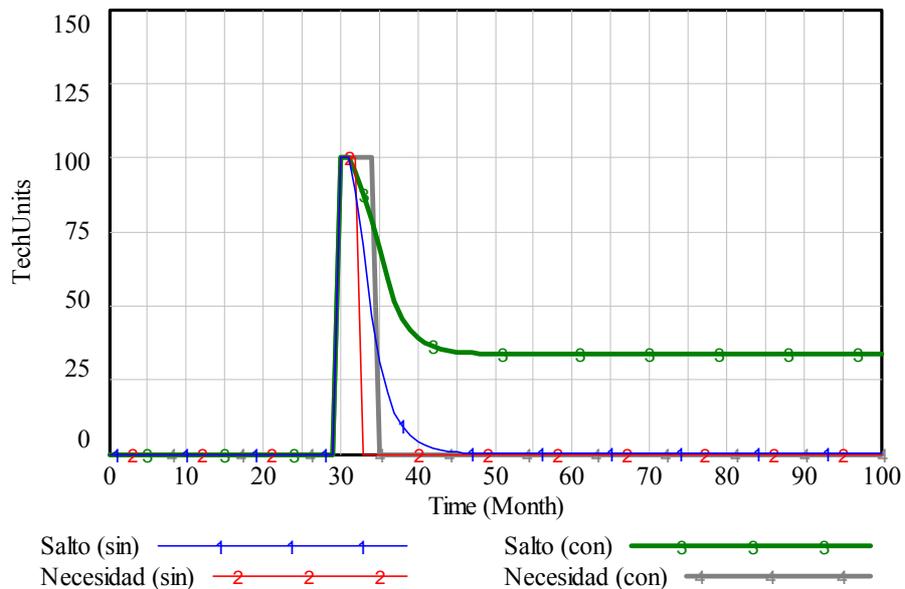


Figura 103. Respuesta de las variables Salto Tecnológico y Necesidad Percibida de Formación, sin y con Mito Tecnológico, correspondientes al modo de referencia Modo E (Figura 87).

Ello significa que en el plano de la teoría expuesta se han cumplido los objetivos, sin embargo en el plano de la teoría en uso, queda subyacente un determinado **salto Tecnológico**, como se muestra en la Figura 103. En consecuencia, ese **Salto Tecnológico** enmascarado generará una insatisfacción latente.

#### 8.4.1.2 Bucles 4, 5 y 6

Para comprobar el modo de referencia Modo F (Figura 88) que define el comportamiento del bucle 6 debemos introducir convenientemente la variable **satisfacción**. Esta variable no sólo está influida por la variable generada en este sector, **salto Tecnológico**, sino por otras dos variables externas al mismo, **Madurez** y **Sobrecarga de Trabajo**, las cuales queremos aislar para ceñirnos al comportamiento del subdiagrama. Por lo tanto, no nos sirve la suposición de la *Eq. 8-18*, en que consideramos que la **satisfacción** es constante.

El modo de referencia Modo F (Figura 88) refleja la interacción entre el **salto Tecnológico**, la **Satisfacción** y el **Mito Tecnológico**, que hemos descrito en detalle en el apartado 8.2.3 y que es la razón de ser del bucle 6, “Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción”: un aumento del **salto Tecnológico** produce un deterioro de la **satisfacción**, lo que hace que crezca el **Mito Tecnológico**, y viceversa. Para ello debemos rescatar las siguientes ecuaciones del tema 9:

$$\text{Satisfacción} = \text{INTEG}(\text{Motivación} - \text{Desmotivación}, \text{Satisfacción Inicial}) \quad [\text{Eq. 7-4}]$$

$$\text{Motivación} = \text{Factores Motivacionales} * \text{filtro} \quad [\text{Eq. 7-6}]$$

$$\text{Desmotivación} = \text{Factores Higiénicos} \quad [\text{Eq. 7-7}]$$

$$\text{filtro} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Factores Higiénicos} > 0, \text{k} / ((\text{Factores Higiénicos}^2) + \text{k}), 1) \quad [\text{Eq. 7-10}]$$

Y modificar las ecuaciones *Eq. 7-8* y *Eq. 7-9*, que se definen las variables auxiliares **Factores Higiénicos** y **Factores Motivacionales**. Las cuales, a su vez, están reguladas por los parámetros **Peso Higiénico** y **Peso Motivacional**, que ajustan el peso relativo de los factores que influyen en la **Satisfacción**.

Entonces, prescindimos tanto del factor motivador **Madurez** como del factor higiénico o desmotivador **Sobrecarga de Trabajo** y definimos las siguientes ecuaciones de la forma:

$$\text{Factores Higiénicos} = \text{Peso Higiénico} * ((\text{Salto Tecnológico} / \text{Tiempo de Desánimo por Ignorancia}) * \text{Tasa de Desánimo por Ignorancia}) \quad [\text{Eq. 8-28}]$$

$$\text{Factores Motivacionales} = \text{Peso Motivacional} \quad [\text{Eq. 8-29}]$$

$$\text{Peso Higiénico} = 1(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 8-30}]$$

$$\text{Peso Motivacional} = 0(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 8-31}]$$

De esta manera, estamos manteniendo nula la acción motivadora mientras que hacemos que la desmotivadora dependa exclusivamente del salto Tecnológico.

Además establecemos los siguientes parámetros:

$$\text{Tasa de Desánimo por Ignorancia} = 0.5(\text{SatisfUnits/TechUnits}) \quad [\text{Eq. 8-32}]$$

$$\text{Tiempo de Desánimo por Ignorancia} = 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-33}]$$

Y ajustamos el valor de la constante de la forma:

$$\text{Umbral de Percepción} = 0.375 (\text{TechUnits/MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 8-34}]$$

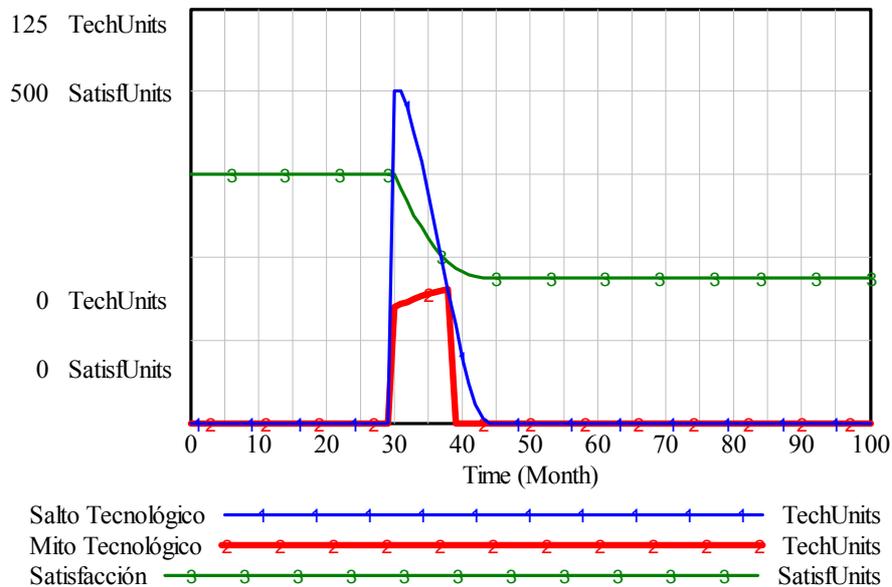


Figura 104. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88).

En estas condiciones, la simulación de la Figura 104 nos muestra el comportamiento deseado.

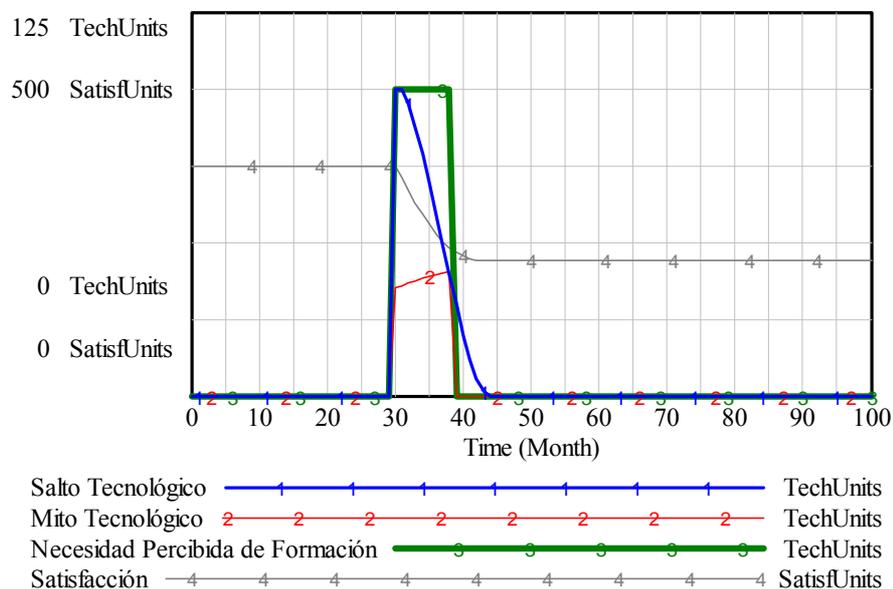


Figura 105. Acción de la variable Necesidad Percibida de Formación en relación al comportamiento asociado al modo de referencia Modo F (Figura 88).

Llama la atención que el comportamiento de la variable **Mito Tecnológico** es más brusco de lo que cabía esperar según se ha definido el Modo F (Figura 88). Esto es debido a la acción de la variable **Necesidad Percibida de Formación** que es la que, por un lado, dirige el proceso de capacitación y, por otro, induce la rutina organizacional defensiva. Como se puede apreciar en la Figura 105, su acción es discontinua, se podría decir que es prácticamente digital, y no como el **salto Tecnológico** que es continua.

#### 8.4.2 Análisis de sensibilidad

Dado que este subdiagrama es más intrincado que los otros dos, al igual que en el apartado anterior, también vamos a realizar el análisis de manera incremental pero de forma más gradual. Primero estudiaremos el bucle 4, a continuación incorporaremos el bucle 5 y por último añadiremos el bucle 6 que tiene interacciones con los otros bucles a través de la variable **Satisfacción**.

Con en los dos capítulos anteriores, se realiza el análisis de sensibilidad multivariante con el método Monte Carlo, con una distribución uniforme aleatoria y con 1000 simulaciones.

#### 8.4.2.1 Bucle 4

En primer lugar realizamos el análisis en el plano de la teoría expuesta, es decir, el caso del bucle 4, “Reducción del Salto Tecnológico por Formación”, separado de los otros dos bucles que conforman el sector. Para ello volvemos a situarnos en el escenario definido por las ecuaciones del apartado 8.4.1.1.

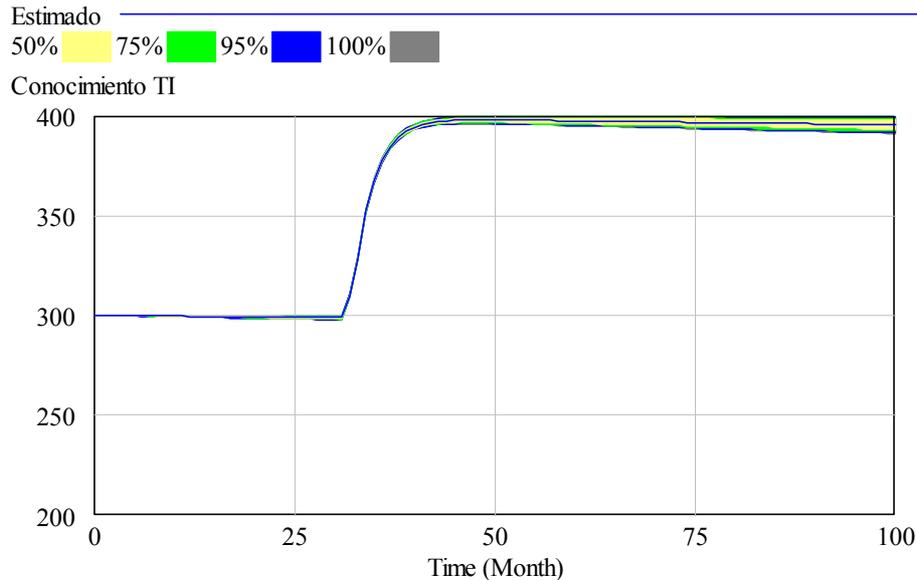


Figura 106. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en relación a la Tasa de Obsolescencia con un valor estimado de  $0.125 \text{ 1/Month}$  en el rango  $\{0, 0.25\}$ .

Algunos de los parámetros no serán objeto del análisis porque son coeficientes que nos ayudan a ajustar el modelo para su verificación, como la **Tasa de Necesidad TI**, y otros como **Tasa de Obsolescencia**, porque el modelo es levemente sensible como se puede observar en la Figura 106, para un valor estimado de  $0.125 \text{ 1/Month}$ , dentro del rango que oscila entre  $0 \text{ 1/Month}$  y  $0.25 \text{ 1/Month}$ , los límites de confianza del 95% son cercanos al valor estimado, lo que indica que el **Conocimiento TI** es poco sensible con respecto a la **Tasa de Obsolescencia**. Por ello hemos considerado que para este caso la **Tasa de Obsolescencia** será nula.

Vamos analizar la sensibilidad de la variable de nivel **Conocimiento TI** y del indicador **Salto Tecnológico** del sector, circunscrito al bucle 4, en función de los siguientes tres coeficientes en los que pueden depender de los responsables en el plano de la teoría expuesta: **Tiempo de Adiestramiento**, **Tiempo de Preparación de la Formación** y **Umbral de Percepción**.

En relación al **Umbral de Percepción**, con un rango que varía un 15% sobre el valor estimado de  $0.75 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ ,  $\{0.625, 0.875\}$ , observamos en la Figura 107 un comportamiento regular y cuyas variaciones

se producen por encima del nivel deseado, no por debajo. Recordemos que esto no es pernicioso (ver explicación de la Eq. 8-7) porque, como se comprueba en la Figura 108, no se genera un **salto tecnológico** latente.

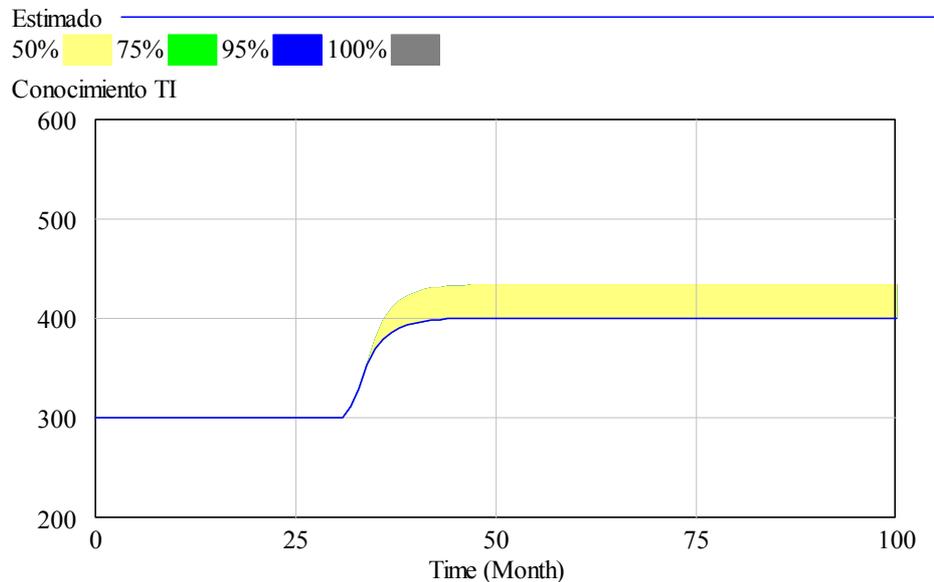


Figura 107. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.75 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.625, 0.875}.

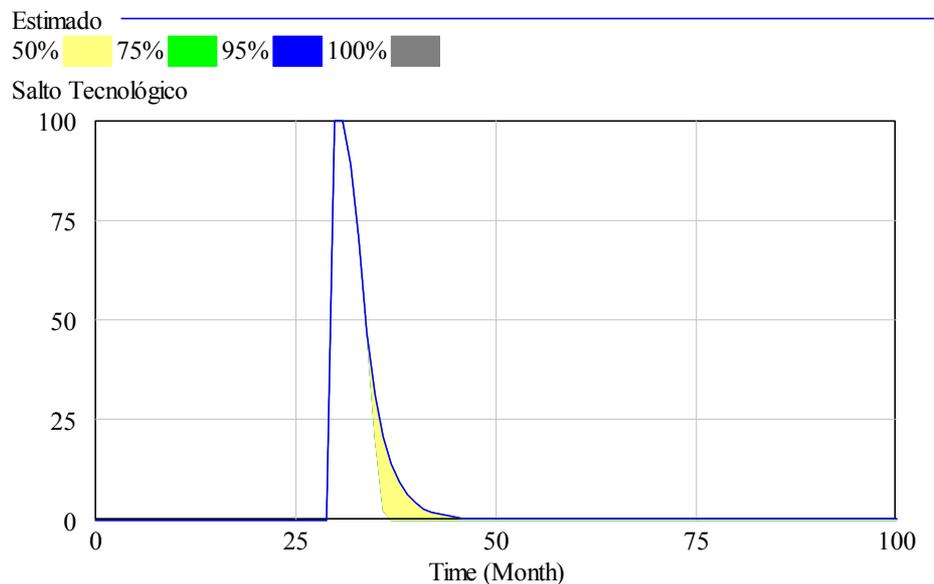


Figura 108. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.75 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.625, 0.875}.

Si analizamos la influencia del **Tiempo de Adiestramiento** podemos observar que es muy sensible para valores que superan los 3 *Month*. Vemos en la Figura 109 que con un rango que varía un 5%, {2.84375, 3.15625}, se

genera un **salto Tecnológico** latente que puede llegar a valer **4.95 TechUnits**.

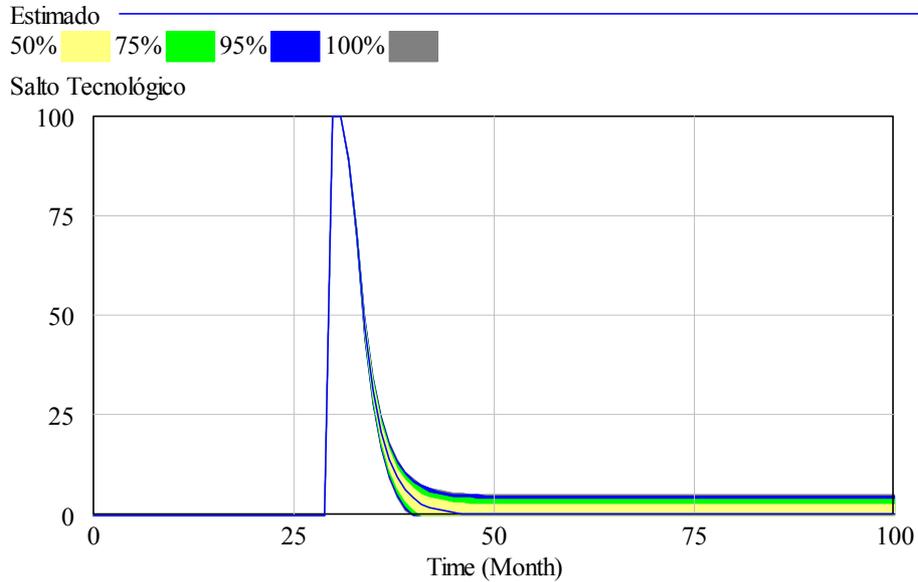


Figura 109. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 Month en el rango {2.84375, 3.15625}.

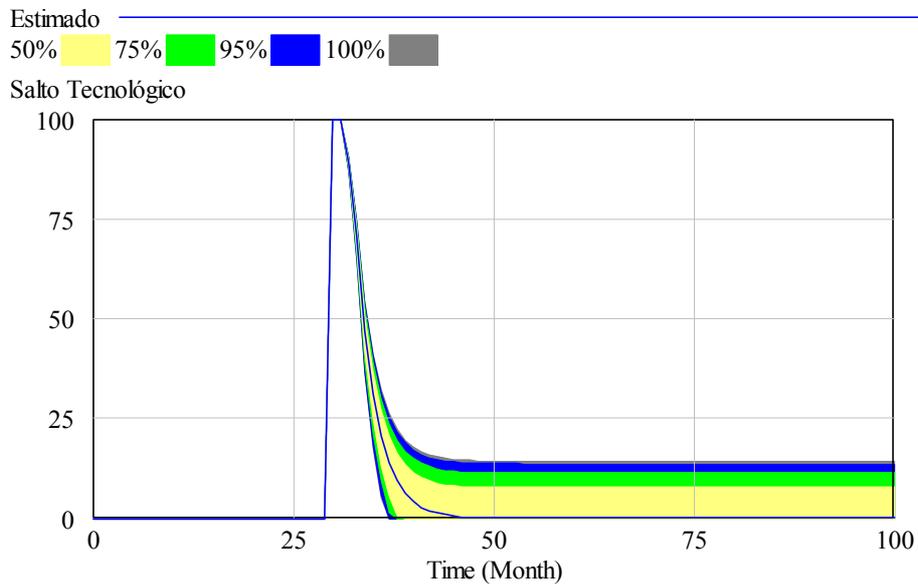


Figura 110. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 Month en el rango {2.5, 3.5}.

Si, como se muestra en la Figura 110, el margen lo ampliamos al 15%, {2.5, 3.5}, el **salto Tecnológico** latente que puede llegar a **14.29 TechUnits**. Esto se debe a que al rebasar el umbral de 3 *Month* la velocidad de aprendizaje se va ralentizando según aumenta el **Tiempo de Adiestramiento** (ver Figura 111) y cuando la organización percibe que ha se ha llegado al umbral de

necesidad de formación, esta se suspende, no teniendo tiempo de completar la formación dado que su ritmo es más lento.

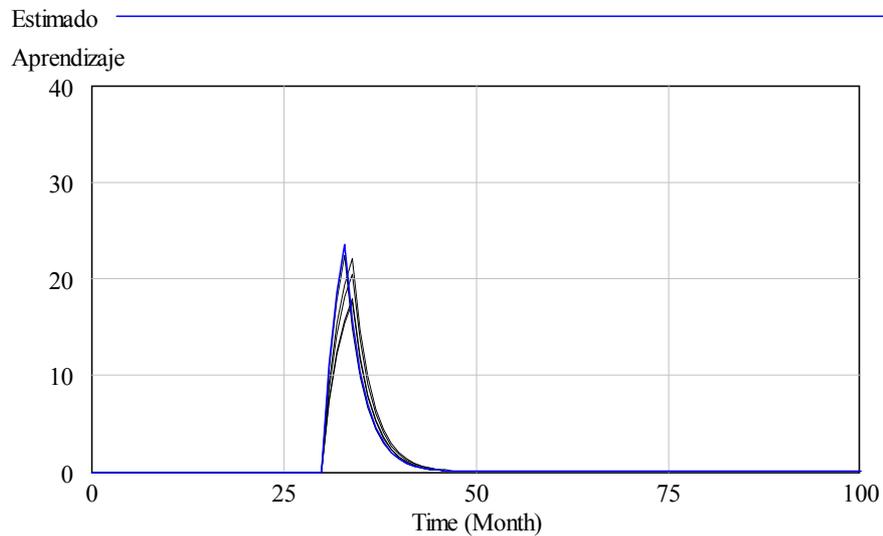


Figura 111. La velocidad de Aprendizaje se modera según aumenta el Tiempo de Adiestramiento.

Sin embargo, para el caso en que el máximo del rango sea el propio valor estimado 3 *Month*, por ejemplo {0.25, 3}, no se genera dicho **salto Tecnológico** latente como se aprecia en la Figura 112.

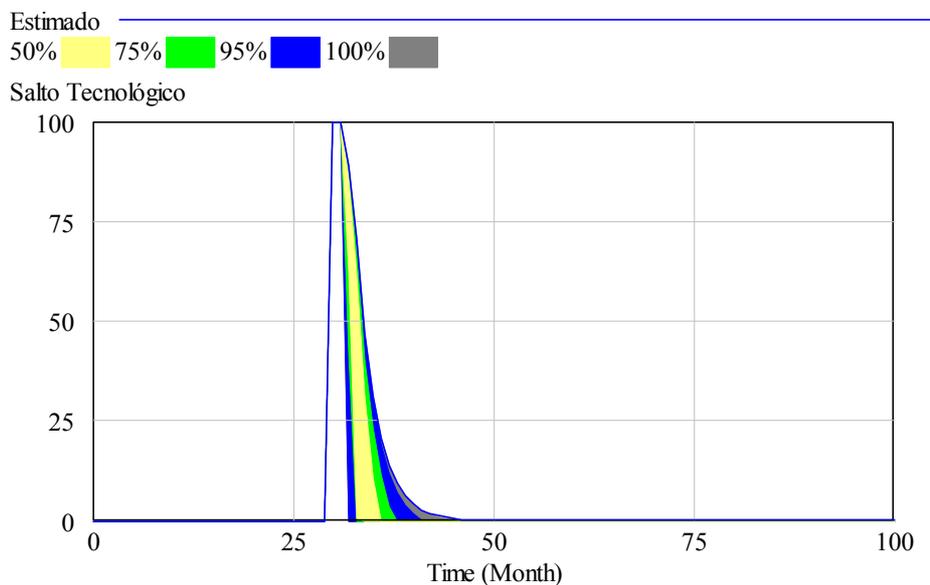


Figura 112. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 *Month* en el rango {0.25, 3}.

En conclusión, al analizar el efecto del bucle 4 aislado del resto del modelo, observamos que, de cara al análisis global, si no queremos que los resultados

se vean viciados por un **salto Tecnológico** latente, conviene que el valor de la constante **Tiempo de Adiestramiento** sea menor o igual a 3:

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} \leq 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-35}]$$

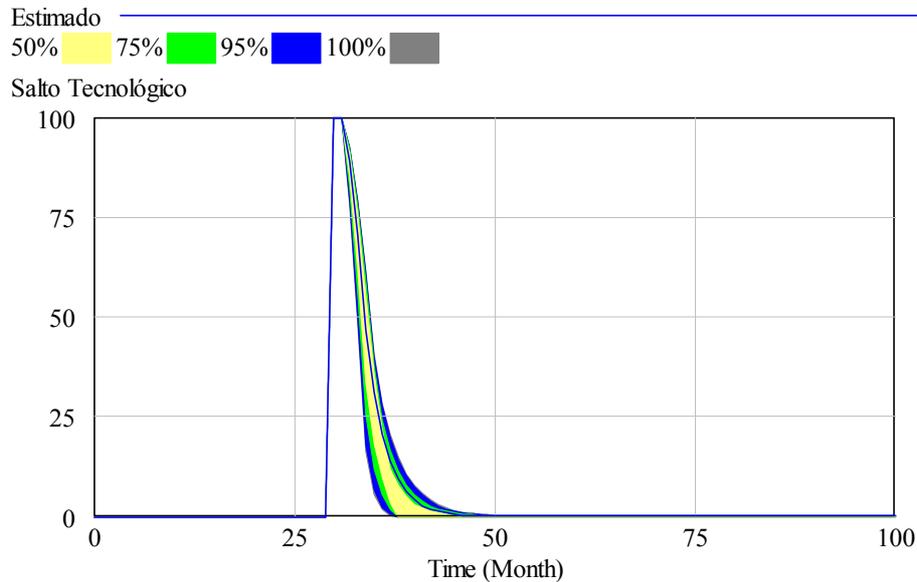


Figura 113. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Preparación de la Formación con un valor estimado de 3 Month en el rango {1.5, 4.5}.

Sin embargo, como se puede ver en la Figura 113, el **Tiempo de Preparación de la Formación** no genera inestabilidad para un rango del 50% entorno al valor estimado 3 Month, {1.5, 4.5}.

#### 8.4.2.2 Bucles 4 y 5

Una vez estudiado el comportamiento del bucle 4 aislado del resto, realizamos el análisis combinado de los bucles 4 y 5. Al igual que el escenario anterior, descartamos aquellos parámetros de ajuste sintáctico del modelo como la **Tasa de Necesidad TI**. La **Tasa de Obsolescencia** también será nula, si bien se puede comprobar que su influencia es similar a la mostrada en la Figura 106, aunque el estacionario no alcanzaría el **Nivel TI Deseado**, como está previsto en el correspondiente modo de referencia Modo E (ver Figura 87 y Figura 101).

Igualmente, de cara a evitar el salto latente que pudiera generarse en el bucle 4, vamos a mantener los valores de los coeficientes analizados en dicho escenario anterior (ver Eq. 8-21, Eq. 8-22, Eq. 8-23). Por lo tanto, el estudio lo centramos en los coeficientes que inciden en la dialéctica entre los planos de la teoría expuesta y de la teoría en uso: **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia**, **Tasa de Crítica** y **Tiempo de Reacción**, cuyos valores

estimados para ajustar el modelo a los modos de referencia se indican en *Eq. 8-24, Eq. 8-25, Eq. 8-26 y Eq. 8-27.*

El **Tiempo de Reacción** no genera inestabilidad para un rango del 67% entorno al valor estimado 3 *Month*, {1, 5}, como se puede apreciar en Figura 114.

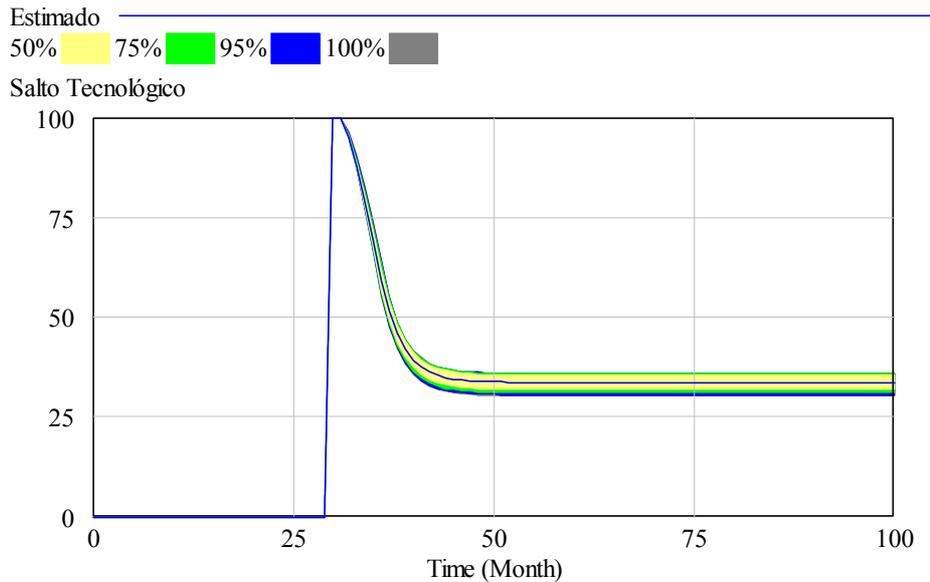


Figura 114. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Reacción con un valor estimado de 3 *Month* en el rango {1, 5}.

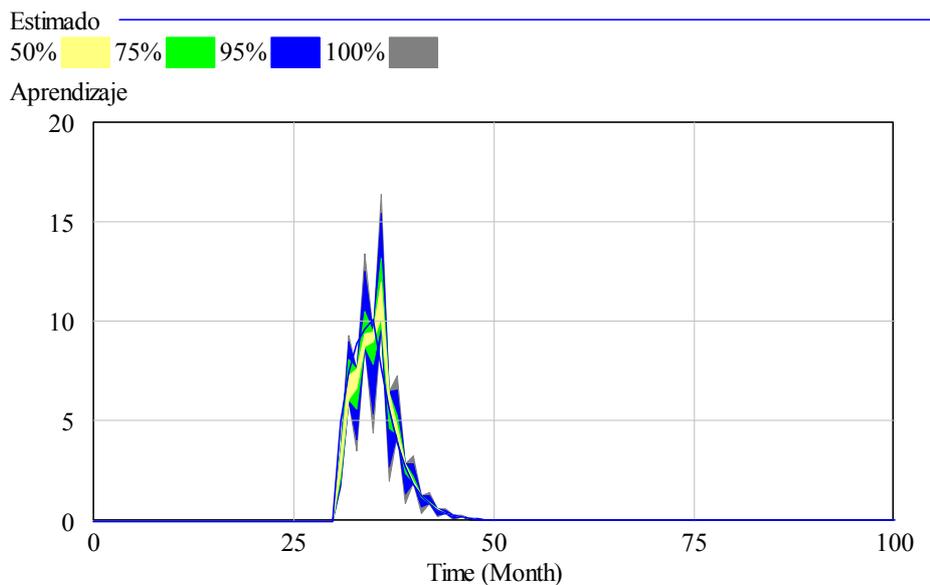


Figura 115. Gráfico del análisis de sensibilidad del Aprendizaje en relación al Tiempo de Reacción en el rango {0.5, 1}.

Sin embargo, para valores inferiores a 3 *Month*, el comportamiento se vuelve inseguro. Concretamente, para el rango de valores {0.5, 1} muestra oscilaciones como se puede ver en el comportamiento del **Aprendizaje** mostrado en la Figura 115. Y para valores inferiores a dicho rango, se puede comprobar que el modelo se hace mucho más inestable.

La **Tasa de Crítica** es un parámetro que actúa en combinación con el **Tiempo de Reacción**. Este “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI” es muy sensible a este coeficiente dado que en un rango inferior al 15% entorno al valor estimado (0.5 *1/TechUnits*), {0.4375, 0.5625}, se puede observar que los límites de confianza se alejan del comportamiento previsto (ver Figura 116).

Sólo para un rango muy estrecho, inferior al 5%, el comportamiento genera confianza; por lo tanto el valor de la **Tasa de Crítica** se mantendrá constante en 0.5 *1/TechUnits*, como se ha establecido en la Eq. 8-26. Además la **Tasa de Crítica** pertenece al grupo de parámetros añadidos para hacer viable la sintaxis y la coherencia de las unidades del modelo.

Los parámetros que más influyen en la discordancia que se produce entre los dos planos de la teoría expuesta y de la teoría en uso son la **Tasa de Paranoia** y **Umbral de Percepción**.

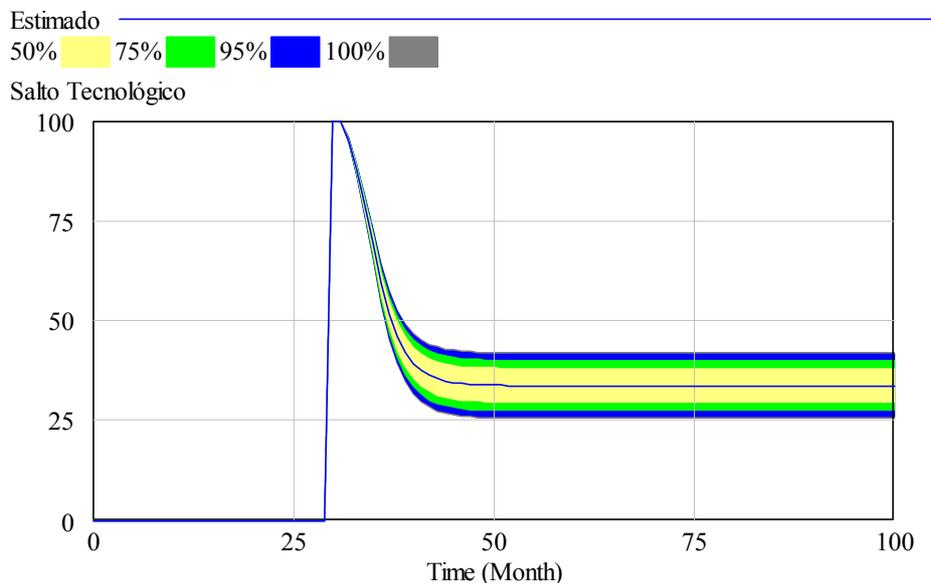


Figura 116. Gráfico del análisis de sensibilidad del Aprendizaje en relación a la Tasa de Crítica con un valor estimado de 0.5 *1/TechUnits* en el rango {0.4375, 0.5625}.

La **Tasa de Paranoia** representa la susceptibilidad de las personas ante la presión de la promoción de las tecnologías informáticas. El valor estimado en el apartado anterior (Eq. 8-25) es de 1 *1/SatisfUnits* y para un rango de

valores cercano,  $\{0.875, 1.125\}$ , se comporta de manera aceptable (ver Figura 117).

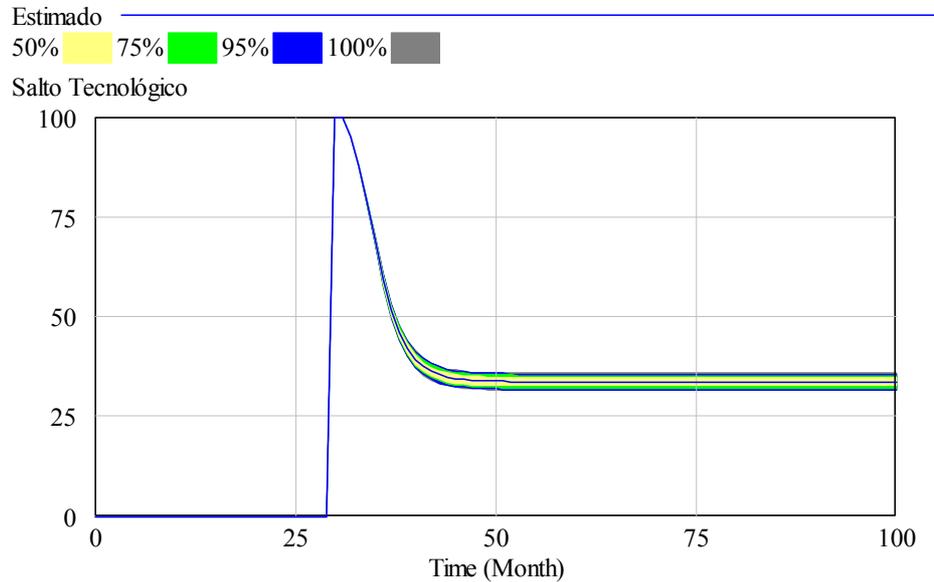


Figura 117. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de  $1 / \text{SatisfUnits}$  en el rango  $\{0.875, 1.125\}$ .

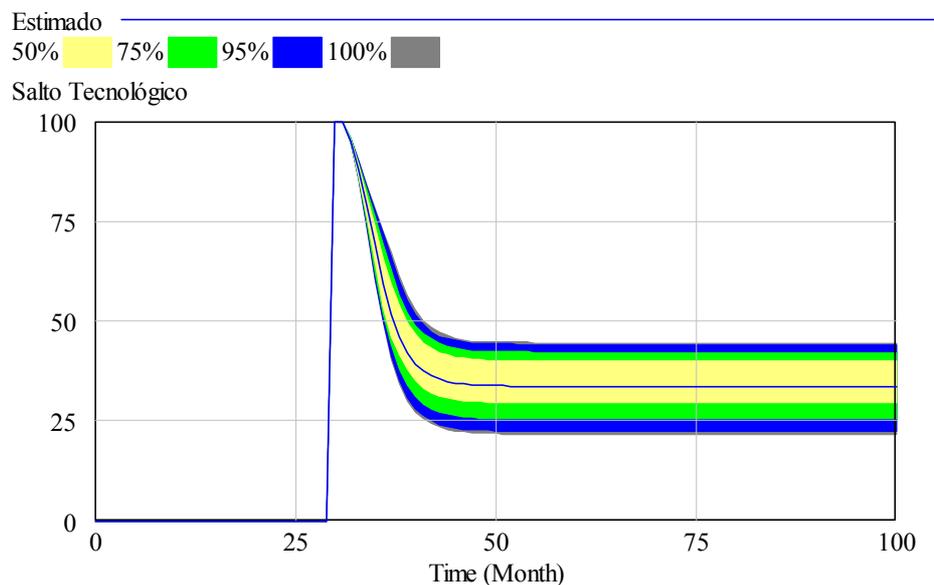


Figura 118. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de  $1 / \text{SatisfUnits}$  en el rango  $\{0, 2\}$ .

Incluso para valores que oscilen un 100%,  $\{0, 2\}$ , aun siendo el comportamiento del salto Tecnológico más inestable, éste está acotado como se puede ver en la Figura 118.

Sin embargo, para valores superiores a  $2 \cdot 1/SatisfUnits$ , tiene un efecto considerable sobre el comportamiento del sistema porque el **Salto Tecnológico** se dispara. Esto se puede ver en la Figura 119. Esto significaría que se produciría un **Aprendizaje** negativo, es decir, que se generaría un proceso de pérdida del **Conocimiento TI** existente. Esto se debería a que la influencia de la falta de **Crítica** sería persistente dado que el **Mito Tecnológico** estaría activado constantemente, ya que nunca se llegaría a alcanzar el **Umbral de Percepción**. Lo cual no tiene sentido en la realidad.

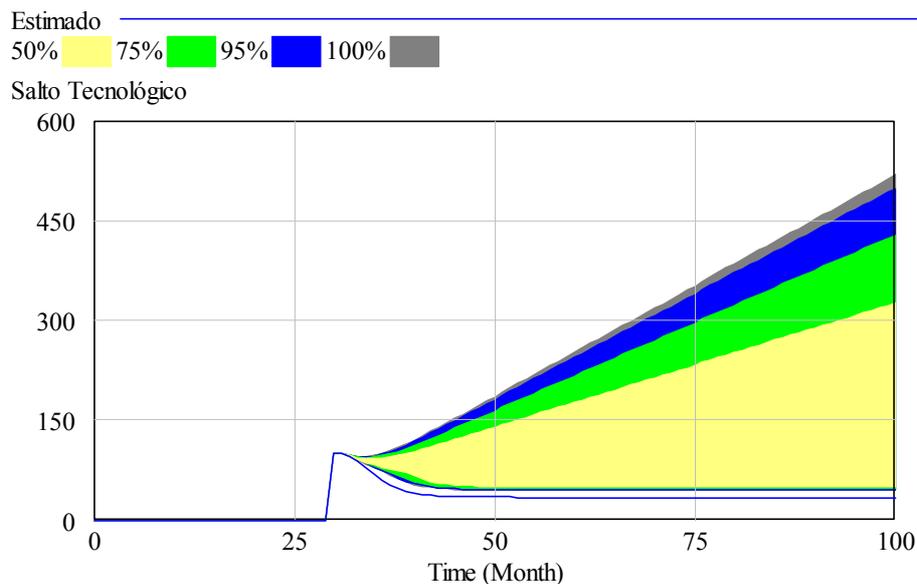


Figura 119. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de  $1/SatisfUnits$  en el rango  $\{2, 4\}$ .

El **Umbral de Percepción** es un indicador de la distancia existente entre el plano de la teoría expuesta y el plano de la teoría en uso. El establecimiento de programas de formación depende de cómo los responsables perciben las necesidades de formación (ver Figura 95), es decir, depende de dicha distancia. Valores bajos de este parámetro señalan una observación más minuciosa, lo que apuntaría a que ambos planos están muy cercanos. Mientras que valores altos indican una percepción más condescendiente, es decir, los planos están distanciados.

Como hemos explicado en la Figura 100, para el caso del bucle 4 aislado del resto del modelo, el valor estimado es de  $0.75 \cdot TechUnits/MaturUnits$  (Eq. 8-24). Sin embargo, para el caso de combinar los dos bucles 4 y 5, manteniendo el conjunto de valores de los parámetros de las ecuaciones Eq. 8-20 a Eq. 8-27, con excepción de la propia Eq. 8-24 (**Umbral de Percepción**), resulta que para valores estrictamente menores de  $0.5 \cdot TechUnits/MaturUnits$ , el

Conocimiento TI alcanzaría el Nivel TI Deseado, es decir, se anularía el Salto Tecnológico (Eq. 8-36).

$$\text{Umbral de Percepción} < 0.5 \text{ (TechUnits/MaturUnits)} \quad [Eq. 8-36]$$

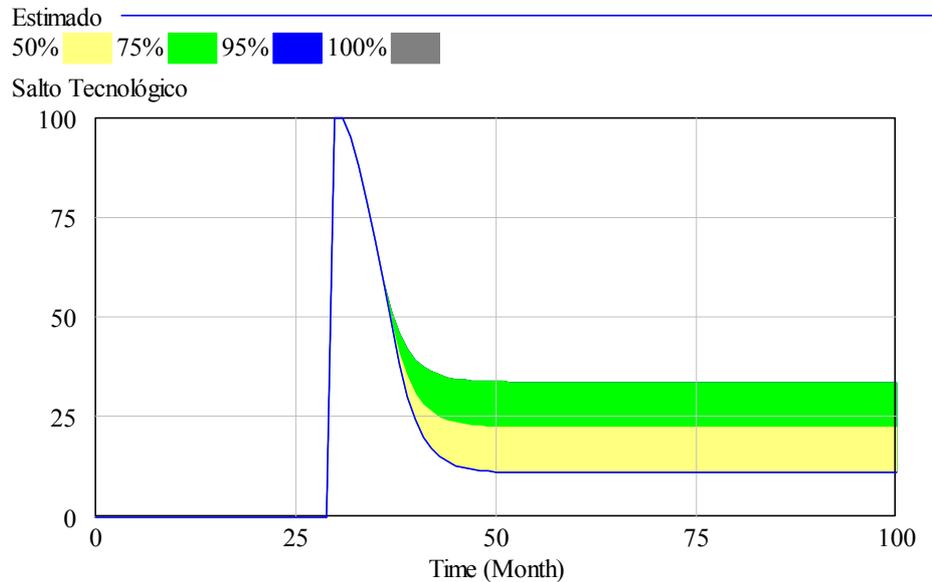


Figura 120. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.5 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.5, 0.75}.

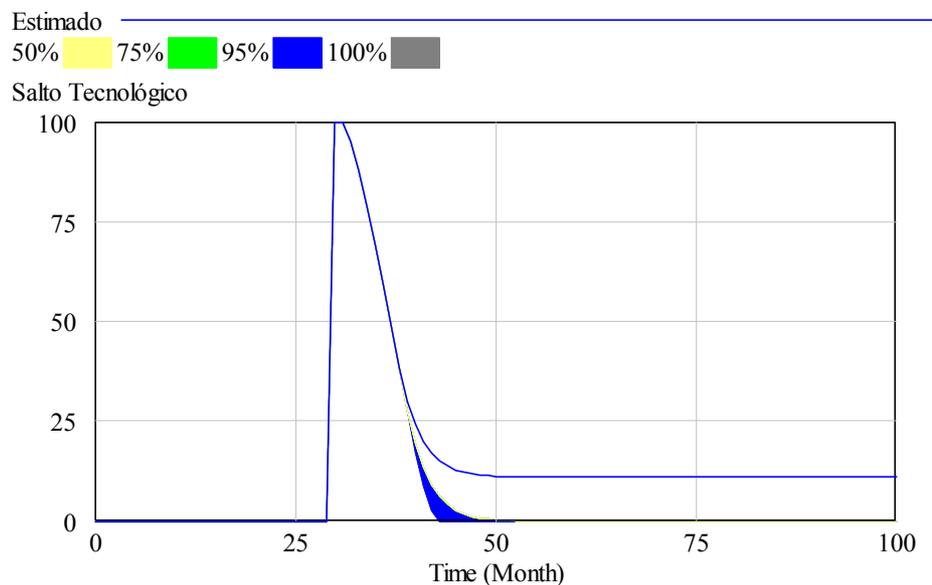


Figura 121. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.5 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.375, 0.484375}.

Si analizamos la confianza del modelo por encima de dicho valor, por ejemplo para el rango {0.5, 0.75}, obtenemos el resultado de la Figura 120, en la que

podemos observar que el espectro de valores se mueve por encima del estimado de  $0.5 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ .

Sin embargo, como se muestra en la Figura 121, para un rango de valores inferiores a  $0.5 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ , por ejemplo<sup>59</sup>  $\{0.375, 0.484375\}$ , el comportamiento del **salto Tecnológico** se precipita hacia cero.

#### 8.4.2.3 Bucles 4, 5 y 6

De cara a analizar el sector completo con los tres bucles (4, 5 y 6) que conforman el presente “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI”, al igual que en el apartado 8.4.1.2, debemos integrar de manera adecuada la variable **satisfacción**. Recordemos que necesitamos excluir las variables **Madurez** y **Sobrecarga de Trabajo** para poder centrarnos en el comportamiento del subdiagrama influido exclusivamente por el factor higiénico **Salto Tecnológico**.

Por lo tanto, retomamos el escenario definido en el apartado 8.4.1.2 que se resume con el siguiente conjunto de ecuaciones:

- Variables propias del Subdiagrama: *Eq. 8-3 a Eq. 8-8, Eq. 8-10, Eq. 8-11 y Eq. 8-14.*
- Variables externas al Subdiagrama: *Eq. 8-16, Eq. 7-4 a Eq. 7-10 y Eq. 8-28 a Eq. 8-31.*
- Parámetros: *Eq. 8-15, Eq. 8-17, Eq. 8-20, Eq. 8-21, Eq. 8-26, Eq. 8-27, Eq. 8-32 y Eq. 8-33.*

Dejando para el análisis de sensibilidad los siguientes cuatro parámetros:

- **Tiempo de Adiestramiento**, que en el apartado 8.4.2.1 hemos concluido que debe ser sea menor o igual a  $3 \text{ Month}$  para que el bucle 4 no genere un **salto Tecnológico** latente (*Eq. 8-35*).
- **Tiempo de Preparación de la Formación**, que si bien no genera inestabilidad de manera aislada (apartado 8.4.2.1), es un factor que puede gestionar la organización (*Eq. 8-23*).
- **Tasa de Paranoia**, porque incide en la distancia entre los dos planos de la teoría expuesta y de la teoría en uso y, según hemos visto en el

---

<sup>59</sup> Vensim® PLE Plus 5.9c sólo permite trabajar con intervalos cerrados, por lo que no se puede expresar el intervalo abierto  $<5$ . Por ello, trabajando con un error de  $2^{-6}$  (0.015625), el límite superior del intervalo lo fijamos en 0.484375.

apartado 8.4.2.2, genera confianza dentro de un rango de valores cercano a  $1/SatisfUnits$  (Eq. 8-25).

- **Umbral de Percepción**, que también interviene en la separación entre ambos planos y cuyo espectro de valores debiera ser estrictamente menor de  $0.5 TechUnits/MaturUnits$  (Eq. 8-36).

Antes de realizar el análisis de sensibilidad podemos ver en la Figura 122 cuál es la respuesta del **Conocimiento TI** para diferentes escenarios, para el caso del bucle 4 separado de la influencia del **Mito Tecnológico** y para el caso de los tres bucles que conforman el “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI”.

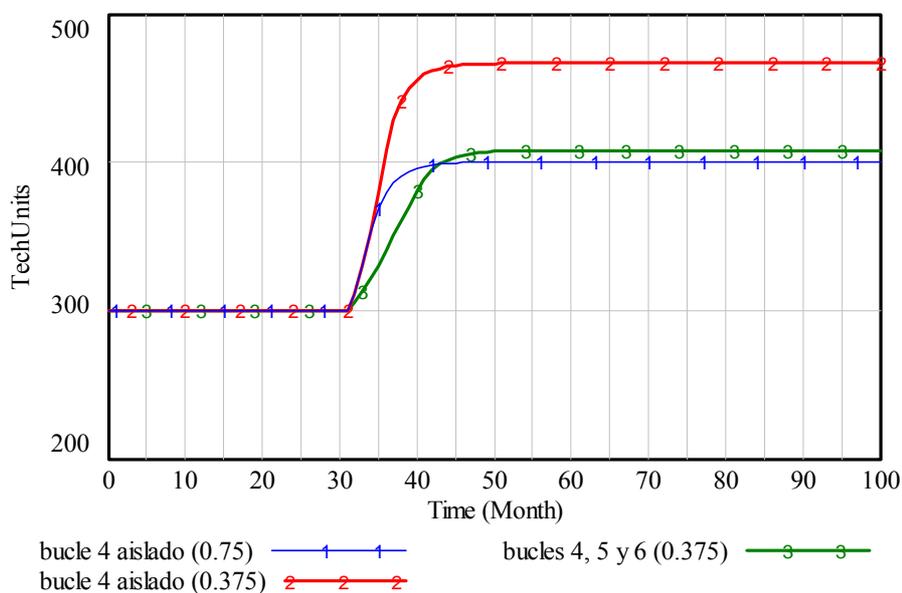


Figura 122. Comportamiento del Conocimiento TI en distintos escenarios y con diferentes valores del parámetro Umbral de Percepción.

La línea 1 muestra el caso aislado del bucle 4 en el que el **Conocimiento TI** alcanzaba el **Nivel TI Deseado** (ver Figura 98) para un **Umbral de Percepción** del 0.75 (Eq. 8-24), con **Tiempo de Preparación de la Formación** y con **Tiempo de Adiestramiento** de a 3 Month (Eq. 8-23, Eq. 8-35).

Sin embargo, como acabamos de ver en el apartado anterior para el sistema que integra los bucles 4, 5 y 6, conviene que el **Umbral de Percepción** sea estrictamente menor de 0.5 (Eq. 8-36). Si aplicamos esta condición, por ejemplo para el caso de un **Umbral de Percepción** de 0.375 (Eq. 8-34), obtenemos la respuesta señalada con la línea 2 en la que podemos observar que existiría un exceso de formación (lo cual quiere decir que deberían

limitarse los tiempos de formación). Que, como podemos comprobar con la respuesta de la línea 3, mantener los valores de con **Tiempo de Preparación de la Formación** y con **Tiempo de Adiestramiento** de a 3 *Month* para el caso de los tres bucles unidos, también puede generar un exceso de formación.

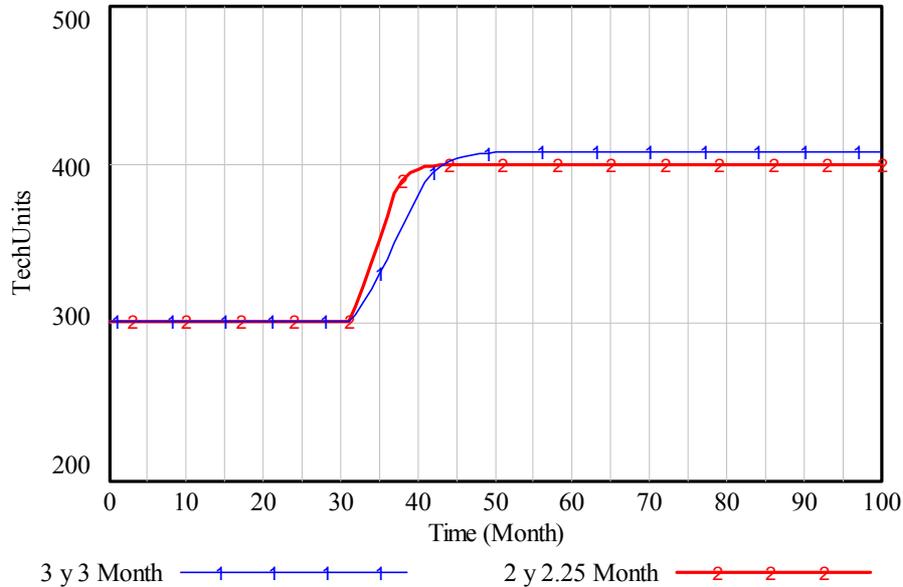


Figura 123. Comportamiento del Conocimiento TI para diferentes valores del Tiempo de Preparación de la Formación y del Tiempo de Adiestramiento, respectivamente.

Por tanto para esta situación del Subdiagrama 3 completo con un valor de un **Umbral de Percepción** de  $0.375 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ , y de cara a un ajuste más adecuado entre el **Conocimiento TI** y el **Nivel TI Deseado**, como se puede comprobar en la Figura 123 (línea 2), los valores adecuados de los tiempos relacionados con la formación son:

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 2.25(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-37}]$$

$$\text{Tiempo de Preparación de la Formación} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-38}]$$

Hay que tener en cuenta que debe existir cierto equilibrio entre el **Tiempo de Preparación de la Formación** y el **Tiempo de Adiestramiento**. Esto quiere decir que si, por ejemplo, lanzáramos (y abandonáramos) los procesos formativos de forma precipitada para personas con capacidades de aprendizaje lentas, los resultados no se alcanzarían. Y viceversa, periodos de formación más sosegados para personas más perspicaces, podría llevar a un teórico exceso de capacitación.

En este escenario más preciso se puede comprobar en la Figura 124 que el **Tiempo de Adiestramiento** puede producir mayor inestabilidad en la

respuesta. Al igual que en el caso del análisis de la Figura 109, nos movemos en un rango de tolerancia del 5% en torno al valor  $2.25 \text{ Month}$ ,  $\{2.125, 2.375\}$ .

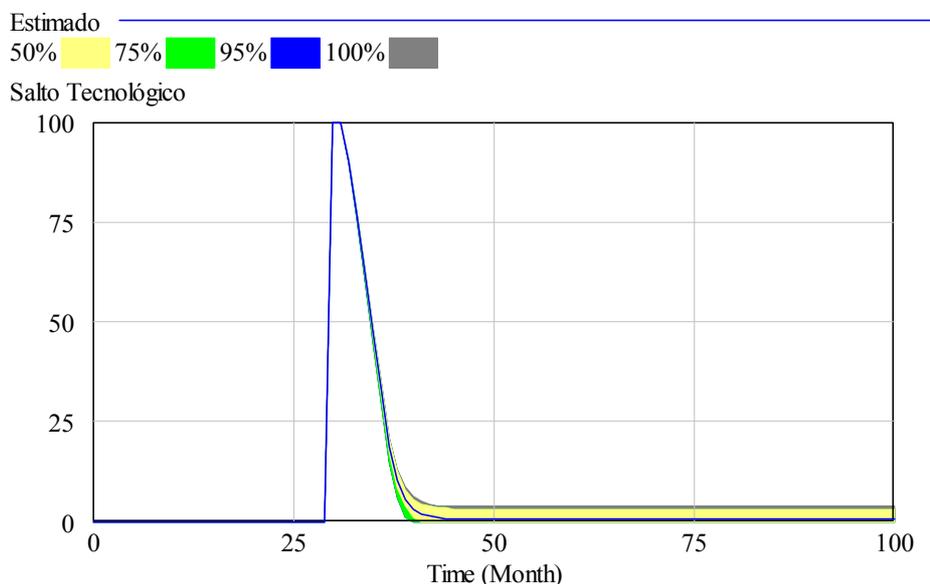


Figura 124. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de  $2.25 \text{ Month}$  en el rango  $\{2.125, 2.375\}$ .

Además, se puede comprobar que en este nuevo escenario, que el límite para que aparezca el **salto Tecnológico** se reduce a  $2.5 \text{ Month}$ ; (todo esto, claro está, sin factores motivacionales y con la única influencia del propio factor higiénico **salto Tecnológico**, como define el bucle 6).

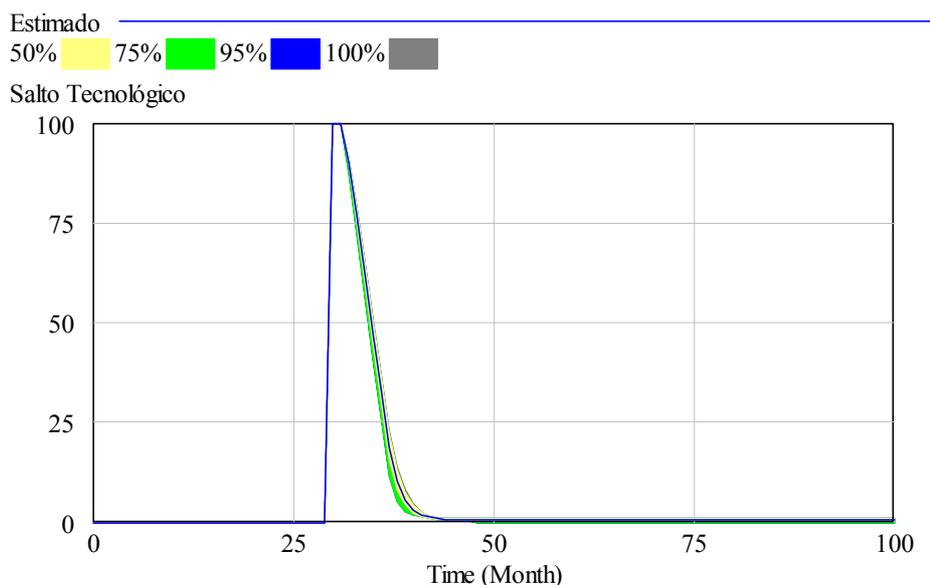


Figura 125. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Tiempo de Preparación de la Formación entorno a  $2 \text{ Month}$  en el rango  $\{1.5, 2.5\}$ .

Sin embargo, para el **Tiempo de Preparación de la Formación** que ya en el apartado 8.4.2.1 se consideraba más estable (ver Figura 113), el margen de confianza se estrecha, mantiene una holgura aceptable entorno al 25% sobre el valor estimado de  $2_{Month}$ ,  $\{1.5, 2.5\}$ , como se ve la Figura 125.

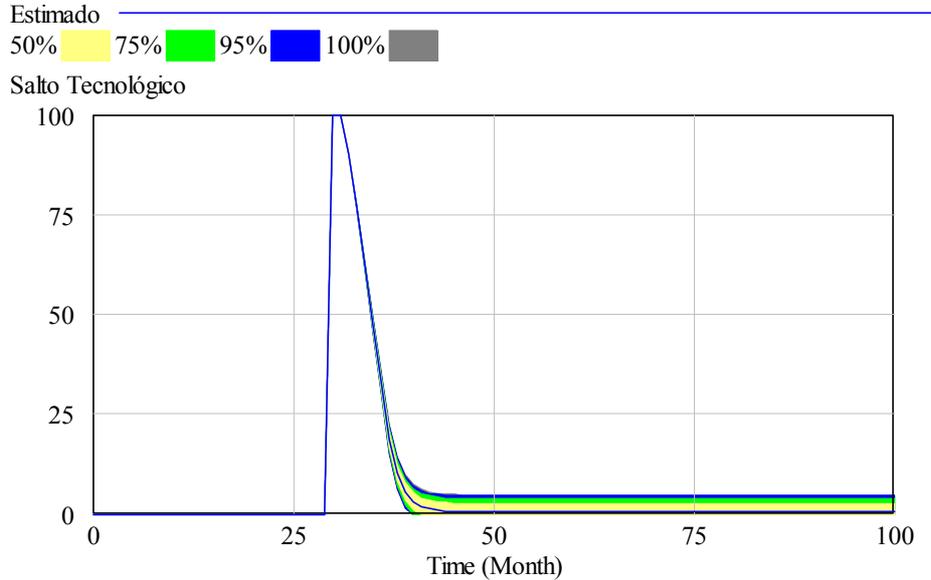


Figura 126. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación a la Tasa de Paranoia entorno al rango  $\{0.875, 1.125\}$ .

Por último, analizaremos los dos coeficientes de los cuales depende el efecto del **Mito Tecnológico** y la aparición de la rutina defensiva que hace que disminuya la **Crítica** y, por ende, el **Aprendizaje**.

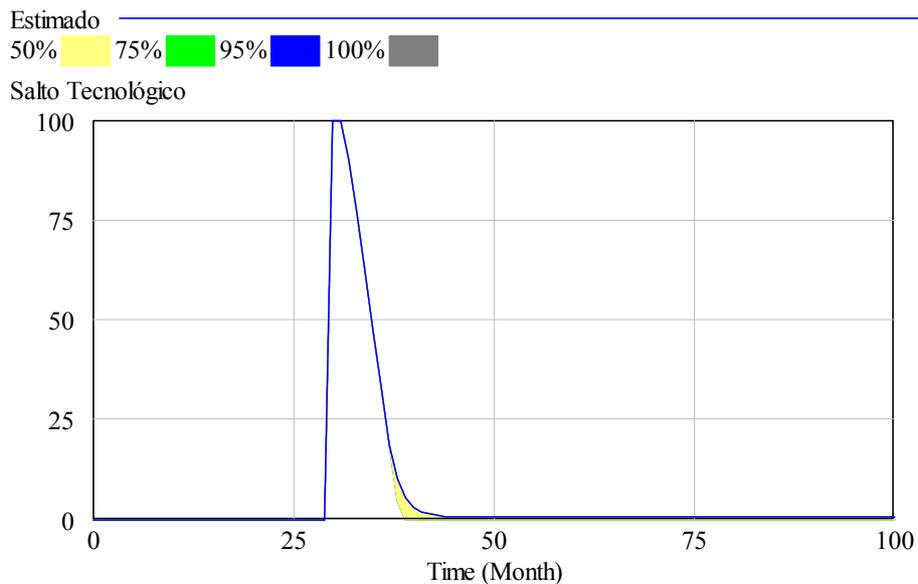


Figura 127. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Umbral de Percepción entorno al rango  $\{0.28125, 0.46875\}$ .

La **Tasa de Paranoia** responde con un margen de confianza similar al del apartado anterior (ver Figura 117), como se puede comprobar en la Figura 126, para un rango de valores cercano al valor estimado de  $1 / SatisfUnits$ ,  $\{0.875, 1.125\}$ .

Por otro lado, como veíamos el **Umbral de Percepción** debe ser menor de 0.5 (Eq. 8-36) y acabamos que ver que un valor razonable, para los cuáles sea comporta dentro de lo esperado el **Conocimiento TI** es de  $0.375 TechUnits/MaturUnits$  (Eq. 8-34), manteniendo los valores de los parámetros **Tiempo de Preparación de la Formación** (Eq. 8-33) y **Tiempo de Adiestramiento** (Eq. 8-38). Podemos ver en la Figura 127 que para dicho valor el comportamiento del **Salto Tecnológico** es estable para un espectro de valores del 25%,  $\{0.28125, 0.46875\}$ .

## 8.5 Conclusión

Como conclusión del sector obtenemos que las claves para controlar el **Salto Tecnológico**, es decir la diferencia entre el **Conocimiento TI** y el **Nivel TI Deseado**, depende de la percepción que tengan los responsables de la organización de la realidad del proceso de aprendizaje (**Umbral de Percepción**) y del recelo de las personas de la organización ante el fomento del idealismo tecnológico (**Tasa de Paranoia**), que provocará barreras para aprender más o menos franqueables.

También está en manos de la organización gestionar el **Tiempo de Preparación de la Formación**, si bien el modelo no es tan sensible a este parámetro como a los dos anteriores. Un cuarto parámetro, al cual es sensible el modelo es el **Tiempo de Adiestramiento**, que al ser inherente a las personas, no puede ser gestionado directamente por la organización.

Es importante que estos dos tiempos estén armonizados, la velocidad de preparación (y terminación) de la **Formación** debe ser acorde a las al ritmo de **Aprendizaje** de las personas de las organización. Y la atención de los responsables, es decir el **Umbral de Percepción**, debe sintonizarse a la realidad de las capacidades de los miembros de la organización. Lo cual confirma lo que apuntaba Claudio Ciborra de que no se debe dar por sentado que una tecnología recién introducida es algo completamente controlado y que conviene mantener cierta atención al proceso de adopción [CIBO96, CIBO97].

## 9 Modelo integrado

*“It is generally not possible to solve even small models analytically due to their high order and nonlinearities, so the mathematical tools many people have studied are of little direct use”.*

*-John D. Sterman-*

*“God does not care about our mathematical difficulties. He integrates empirically”.*

*-Albert Einstein-*

En los tres capítulos anteriores hemos estudiado y validado los tres sectores en que hemos organizado funcionalmente el modelo (ver apartado 5.1.2): el Sector de la Madurez organizacional (capítulo 6), el Sector de la Satisfacción de las personas (capítulo 7) y el Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información (capítulo 8). Por cada sector hemos analizado el comportamiento extraído del conocimiento experto junto con los modos de referencia, los bucles asociados del Modelo Causal representado en el Diagrama Causal de la Figura 47, así como los subdiagramas de Forrester que conforman el Modelo Cuantitativo (ver apartado 5.3).

En este capítulo vamos a estudiar, validar y analizar el Diagrama de Forrester integrado del modelo completo. En primer lugar examinaremos el modelo que resulta de ensamblar y ajustar los subdiagramas validados en los correspondientes capítulos 6, 7 y 8, lo cual nos mostrará el modelo en situación de equilibrio. A continuación someteremos el modelo a las condiciones de seis escenarios diferentes.

## **9.1 Diagrama de Forrester integrado**

En la Figura 128 desplegamos el Diagrama de Forrester que combina los tres subdiagramas estudiados que se muestra en la Figura 48: el “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez”, el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” y el “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI”.

Hay que tener en cuenta, que el ajuste de cada subdiagrama se ha realizado en condiciones ideales, aislado del resto de subdiagramas. Conviene, por tanto, hacer un estudio de las relaciones que hacen de interfaz entre los tres subdiagramas. Por ejemplo, para el Sector de la Satisfacción de las personas se ha considerado una entrada más uniforme y moderada de los factores higiénicos **Salto Tecnológico** y **Sobrecarga de Trabajo**.

### **9.1.1 Estructura del modelo**

En este apartado recogemos, a modo de resumen, el conjunto de ecuaciones de las variables y parámetros que constituyen el modelo y que han sido descritas en los tres capítulos anteriores (6, 7 y 8).

#### **9.1.1.1 Variables de nivel**

Las tres variables de nivel nucleares y que caracterizan los tres sectores en que se ha dividido el modelo (ver Figura 45) son la **Madurez**, la **Satisfacción** y el **Conocimiento TI**.



$$\text{Madurez} = \text{INTEG}(\text{Variación de Madurez}, \text{Madurez Inicial}) \quad [\text{Eq. 6-2}]$$

$$\text{Satisfacción} = \text{INTEG}(\text{Motivación} - \text{Desmotivación}, \text{Satisfacción Inicial}) \quad [\text{Eq. 7-4}]$$

$$\text{Conocimiento TI} = \text{INTEG}(\text{Aprendizaje} - \text{Obsolescencia}, \text{Conocimiento TI Inicial}) \quad [\text{Eq. 8-3}]$$

Como se explica en el apartado 5.1.3, se han definido tres magnitudes abstractas representadas con las unidades que hemos denominado respectivamente *MaturUnits*, *SatisfUnits* y *TechUnits*.

Además existe una cuarta variable de nivel, la **Madurez Deseada** que acumula la **Acción del Impulso Externo**:

$$\text{Madurez Deseada} = \text{INTEG}(\text{Variación Impulso}, \text{Madurez Inicial}) \quad [\text{Eq. 6-7}]$$

#### 9.1.1.2 Variables de flujo

Asociada a la variable **Madurez** tenemos una única variable de flujo:

$$\begin{aligned} \text{Variación de Madurez} = & \text{Implicación Personas} * \\ & (\text{Diferencia de Madurez} * \text{Tasa de Reajuste de Madurez} \\ & / \text{Tiempo de Reajuste de Madurez}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 6-5}]$$

La **satisfacción** depende de:

$$\text{Motivación} = \text{Factores Motivacionales} * \text{filtro} \quad [\text{Eq. 7-6}]$$

$$\text{Desmotivación} = \text{Factores Higiénicos} \quad [\text{Eq. 7-7}]$$

Las variables de flujo del **Conocimiento TI** son:

$$\begin{aligned} \text{Aprendizaje} = & \text{Tasa de Aprendizaje} * \\ & ((\text{Formación} / \text{Tiempo de Adiestramiento}) \\ & * \text{Crítica}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 8-4}]$$

$$\begin{aligned} \text{Obsolescencia} = & (\text{Conocimiento TI} / 1000) * \\ & \text{Tasa de Obsolescencia} \end{aligned} \quad [\text{Eq. 8-5}]$$

Por último, la **Madurez Deseada** recibe un flujo de entrada a través de:

$$\text{Variación Impulso} = \text{Acción} * \text{Impulso Externo} \quad [\text{Eq. 6-8}]$$

### 9.1.1.3 Variables auxiliares

Las variables auxiliares junto con las variables de nivel y las de flujo constituyen el esqueleto del modelo, la estructura estática del mismo.

Las variables auxiliares asociadas al “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez”, de las cuales la **Sobrecarga de Trabajo** es uno de los indicadores del sistema, son:

$$\text{Diferencia de Madurez} = \text{Madurez Deseada} - \text{Madurez} \quad [\text{Eq. 6-3}]$$

$$\begin{aligned} \text{Implicación Personas} &= \text{Satisfacción} / 1000 \\ &* \text{Tasa de Implicación por Satisfacción} \end{aligned} \quad [\text{Eq. 6-4}]$$

$$\begin{aligned} \text{Sobrecarga de Trabajo} &= \text{MAX}(\text{Variación de Madurez} \\ &* \text{Tasa de Fatiga}, 0) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 6-9}]$$

Asimismo incluye la variable exógena de control:

$$\begin{aligned} \text{Impulso Externo} &= \text{PULSE TRAIN}(\text{Inicio Pulsos}, 1, \\ &\text{Periodo}, \text{FINAL TIME}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 6-6}]$$

En el “Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción” nos encontramos las siguientes variables auxiliares:

$$\begin{aligned} \text{Factores Higiénicos} &= \text{Peso Higiénico} * \\ &(((\text{Sobrecarga de Trabajo} / \text{Tiempo de Desánimo por} \\ &\text{Burnout}) * \text{Tasa de Desánimo por Burnout}) \\ &+ ((\text{Salto Tecnológico} / \text{Tiempo de Desánimo por} \\ &\text{Ignorancia}) * \text{Tasa de Desánimo por Ignorancia})) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 7-8}]$$

$$\begin{aligned} \text{Factores Motivacionales} &= \text{Peso Motivacional} * \\ &((\text{Madurez} / \text{Tiempo de Motivación por Madurez}) \\ &* \text{Tasa de Motivación por Madurez}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 7-9}]$$

$$\begin{aligned} \text{filtro} &= \text{IF THEN ELSE}(\text{Factores Higiénicos} > 0, \\ &k / ((\text{Factores Higiénicos}^2) + k), 1) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 7-10}]$$

Y, por último, las variables auxiliares del “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI” forman el siguiente conjunto:

$$\begin{aligned} \text{Crítica} &= \text{SMOOTH}((1 - (\text{Mito Tecnológico} / 100)) * \\ &\text{Tasa de Crítica}, \text{Tiempo de Reacción}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 8-14}]$$

$$\begin{aligned} \text{Formación} &= \text{SMOOTH}(\text{Necesidad Percibida de Formación}, \\ &\text{Tiempo de Preparación de la Formación}) \end{aligned} \quad [\text{Eq. 8-10}]$$

$$\text{Mito Tecnológico} = \text{Necesidad Percibida de Formación} * \text{Tasa de Paranoia} * (0.5 - (\text{Satisfacción} / 2000)) \quad [\text{Eq. 8-11}]$$

$$\text{Necesidad Percibida de Formación} = \text{IF THEN ELSE}(\text{Salto Tecnológico} > (\text{Acción} * \text{Umbral de Percepción}), \text{Acción}, 0) * \text{Tasa de Necesidad TI} \quad [\text{Eq. 8-8}]$$

$$\text{Nivel TI Deseado} = \text{Madurez Deseada} * \text{Tasa de Necesidad TI} \quad [\text{Eq. 8-6}]$$

$$\text{Salto Tecnológico} = \text{MAX}(\text{Nivel TI Deseado} - \text{Conocimiento TI}, 0) \quad [\text{Eq. 8-7}]$$

La variable **Salto Tecnológico** es otro de los indicadores del modelo. Además, tanto la **Necesidad Percibida de Formación** como el **Mito Tecnológico** forman parte del conjunto de indicadores que aportan información significativa del comportamiento del sistema.

#### 9.1.1.4 Parámetros del modelo

Si bien las variables forman el armazón del modelo, los parámetros son los que le dan forma en función de los distintos escenarios y constituyen el conjunto de mandos que controlan el sistema.

En este apartado mostramos los valores de los parámetros que equilibran cada uno de los tres sectores por separado según los hemos validado en los capítulos 6, 7 y 8. En primer lugar están los valores iniciales de las variables de nivel:

$$\text{Madurez Inicial} = 300(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 6-14}]$$

$$\text{Satisfacción Inicial} = 300(\text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 7-22}]$$

$$\text{Conocimiento TI Inicial} = 300(\text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 8-17}]$$

Los factores que controlan el Sector de la Madurez son por un lado:

$$\text{Tasa de Fatiga} = 4(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 6-19}]$$

$$\text{Tasa de Implicación por Satisfacción} = 2(1/\text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 6-16}]$$

$$\text{Tasa de Reajuste de Madurez} = 1(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 6-17}]$$

$$\text{Tiempo de Reajuste de Madurez} = 3(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 6-18}]$$

Y por otro lado, se encuentran los parámetros que controlan tanto el tren de pulsos que simula el ritmo de introducción de nuevas tecnologías representado por el **Impulso Externo** como la amplitud de dicha labor:

$$\text{Acción} = 100(\text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 6-13}]$$

$$\text{Inicio Pulsos} = 40 (\text{Month}) \quad [\text{Eq. 6-10}]$$

$$\text{Periodo} = 60 (\text{Month}) \quad [\text{Eq. 6-11}]$$

Los coeficientes correspondientes al Sector de la Satisfacción son:

$$k = 0.125(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 7-30}]$$

$$\text{Peso Higiénico} = 0.125(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 7-33}]$$

$$\text{Peso Motivacional} = 0.125(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 7-26}]$$

$$\text{Tasa de Desánimo por Burnout} = 0.125(\text{SatisfUnits} \cdot t / \text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-16}]$$

$$\text{Tasa de Motivación por Madurez} = 0.0625(\text{SatisfUnits} / \text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 7-31}]$$

$$\text{Tasa de Desánimo por Ignorancia} = 0.125(\text{SatisfUnits} / \text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 7-17}]$$

$$\text{Tiempo de Desánimo por Burnout} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-19}]$$

$$\text{Tiempo de Desánimo por Ignorancia} = 2(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-20}]$$

$$\text{Tiempo de Motivación por Madurez} = 4(\text{Month}) \quad [\text{Eq. 7-32}]$$

Y el conjunto de parámetros del Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información lo conforman:

$$\text{Tasa de Aprendizaje} = 1(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 8-21}]$$

$$\text{Tasa de Crítica} = 0.5(1 / \text{TechUnits}) \quad [\text{Eq. 8-26}]$$

$$\text{Tasa de Necesidad TI} = 1(\text{TechUnits} / \text{MaturUnits}) \quad [\text{Eq. 8-24}]$$

$$\text{Tasa de Obsolescencia} = 0(1 / \text{Month}) \quad [\text{Eq. 8-20}]$$

$$\text{Tasa de Paranoia} = 1(1 / \text{SatisfUnits}) \quad [\text{Eq. 8-25}]$$

Tiempo de Adiestramiento =  $2.25(\text{Month})$  [Eq. 8-37]

Tiempo de Preparación de la Formación =  $2(\text{Month})$  [Eq. 8-38]

Tiempo de Reacción =  $3(\text{Month})$  [Eq. 8-27]

Umbral de Percepción =  $0.375 (\text{TechUnits/MaturUnits})$  [Eq. 8-34]

### 9.1.2 Ajuste de las interfaces entre los tres subdiagramas

Como hemos indicado antes de continuar debemos ajustar el acoplamiento entre los tres sectores. Para ello comprobaremos los seis modos de referencia Modo A (Figura 49), Modo B (Figura 68), Modo C (Figura 69), Modo D (Figura 86), Modo E (Figura 87) y Modo F (Figura 88), sobre la base de las definiciones del apartado 9.1.1, de las cuales la estructura del modelo definido por las variables (9.1.1.1, 9.1.1.2, 9.1.1.3) permanecerá estable y serán los parámetros (9.1.1.4) los que deberán ajustarse para sintonizar el modelo.

En las siguientes figuras (de la Figura 129 a la Figura 135) mostramos las salidas del modelo integrado para comprobar los seis modelos de referencia en las mismas condiciones empleadas en los capítulos correspondientes. Hemos establecido un horizonte temporal de 200 meses, para poder observar el efecto de todos en especial el primer modo, Modo A (Figura 49), cuyo comportamiento se extiende más en el tiempo.

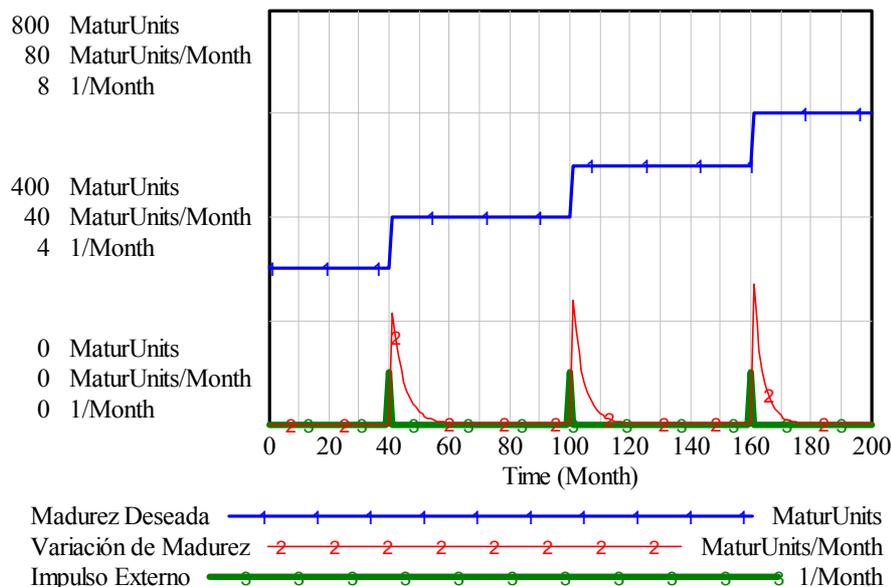


Figura 129. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

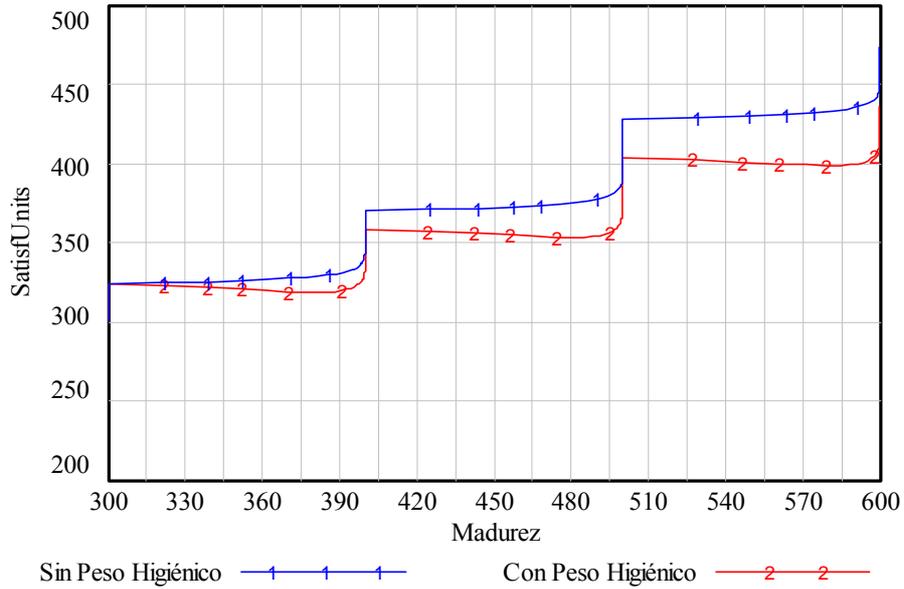


Figura 130. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

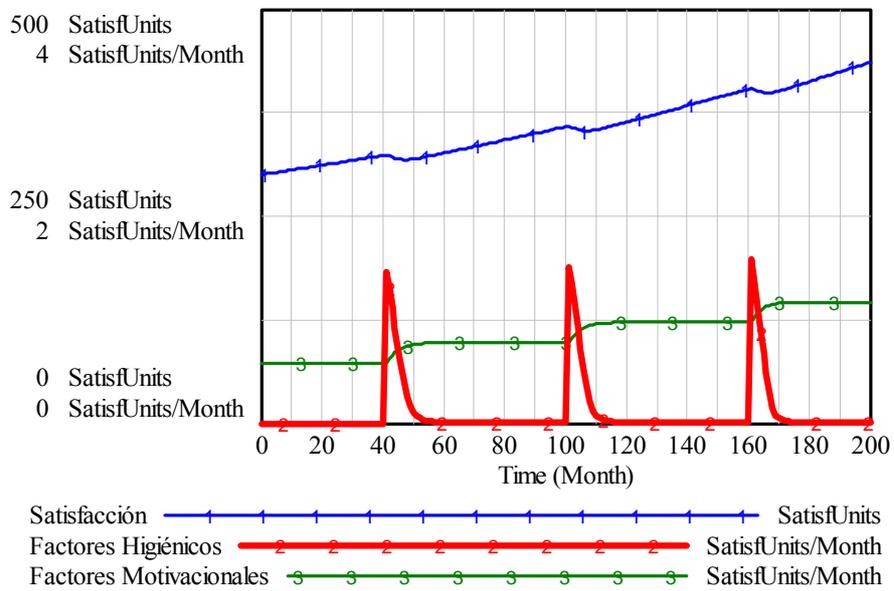


Figura 131. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

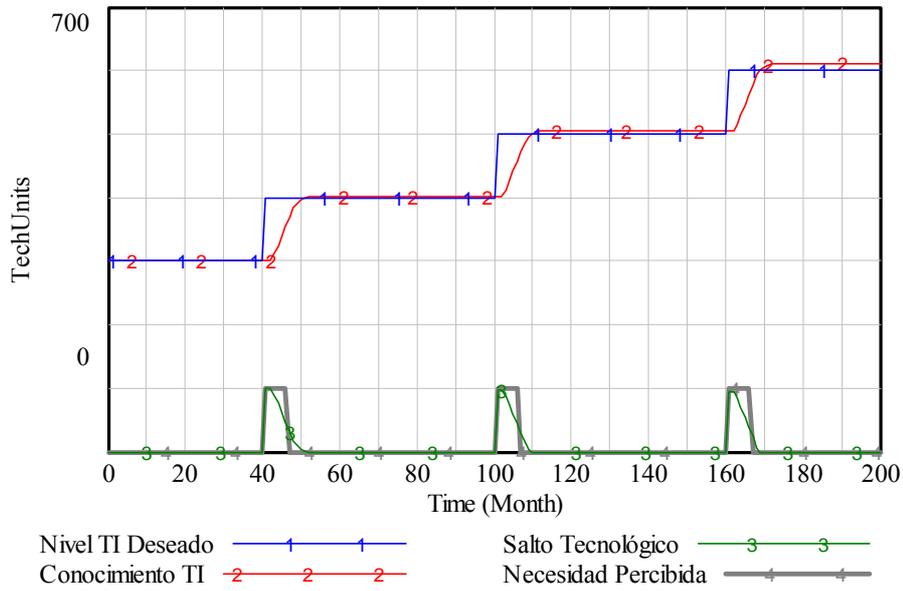


Figura 132. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

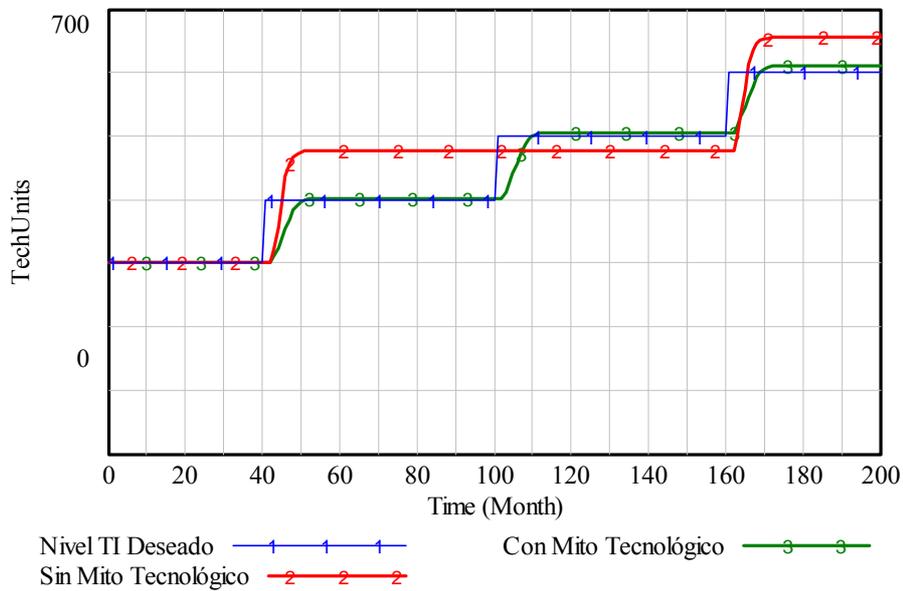


Figura 133. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

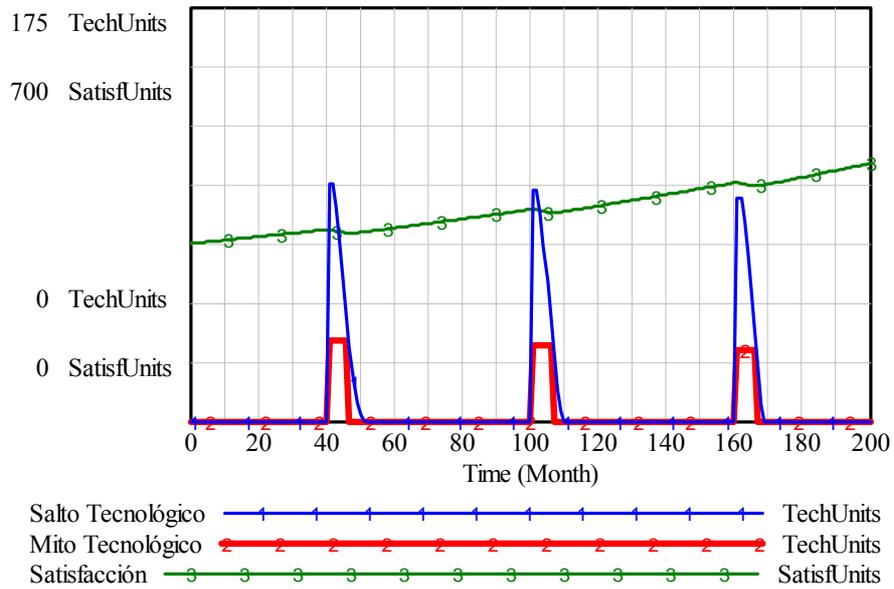


Figura 134. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.

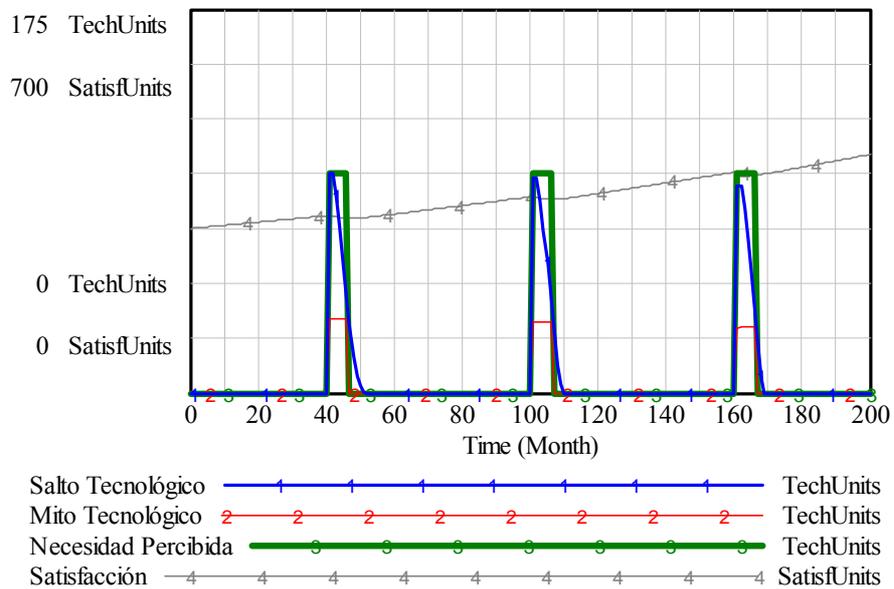


Figura 135. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) según los valores del apartado 9.1.1.4, al que se añadido el comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación.

En general se adaptan de manera aceptable al comportamiento esperado con excepción de los casos de la Figura 131 y de la Figura 132. Para ello basta con ajustar la influencia de los factores tanto motivacionales como higiénicos, aumentando estos y disminuyendo aquellos de la forma:

$$\text{Peso Higiénico} = 0.25(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 9-1}]$$

$$\text{Peso Motivacional} = 0.0625(\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 9-2}]$$

Por otra parte, debemos accionar la **Tasa de Obsolescencia** de forma que se active el proceso pasivo de pérdida o envejecimiento del **Conocimiento TI** simbolizado con la variable de flujo **Obsolescencia**:

$$\text{Tasa de Obsolescencia} = 0.0625(1/\text{Month}) \quad [\text{Eq. 9-3}]$$

De la Figura 136 a la Figura 142 se muestran los nuevos comportamientos que se adecúan de mejor manera a los correspondientes modos de referencia.

Concretamente, conviene destacar que tanto la Figura 138 como la Figura 139 muestran respuestas visiblemente más apropiadas que las correspondientes de la Figura 131 y de la Figura 132 respectivamente.

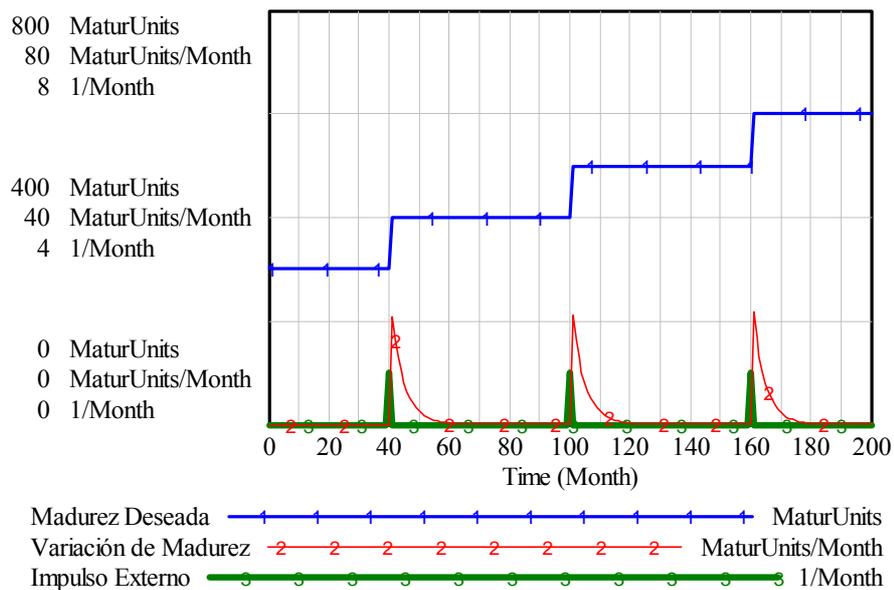


Figura 136. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

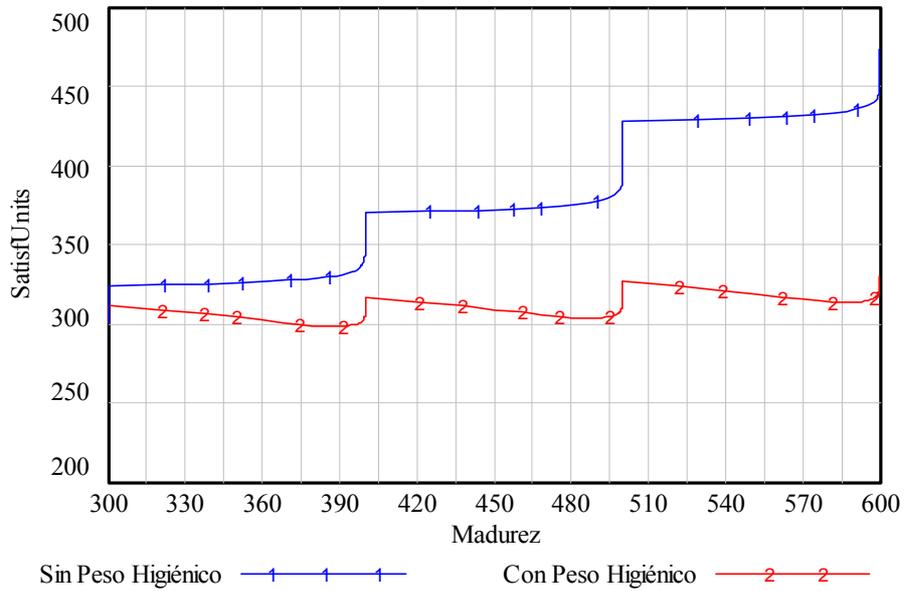


Figura 137. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

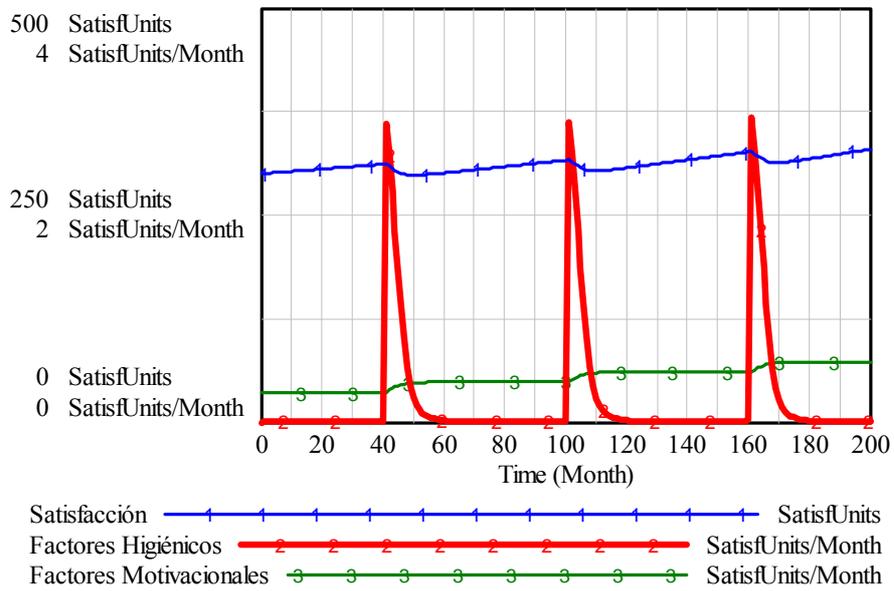


Figura 138. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

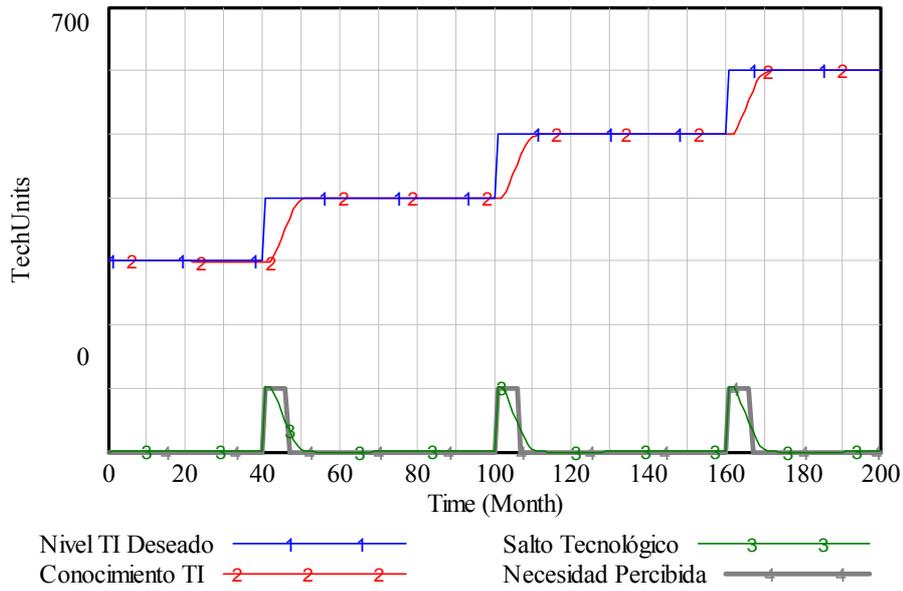


Figura 139. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

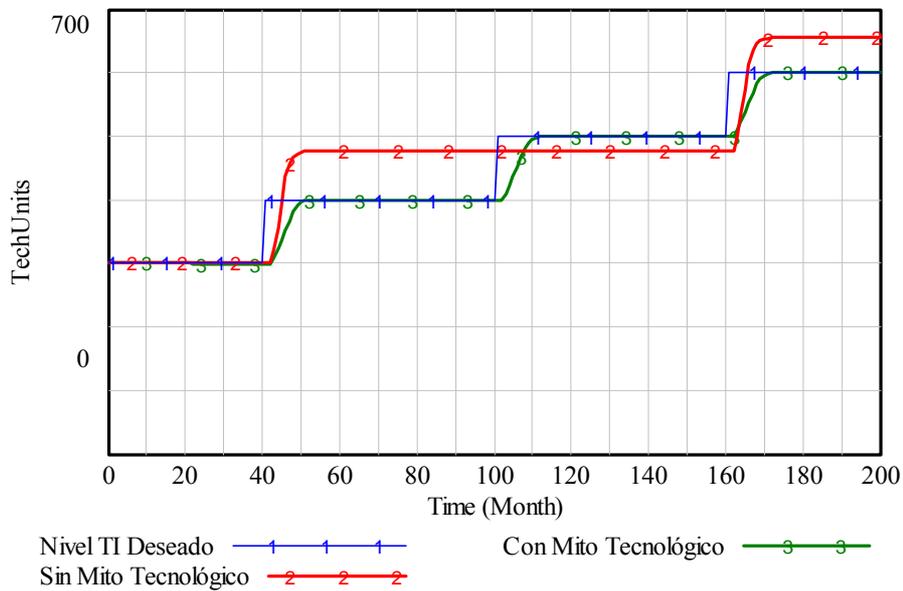


Figura 140. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

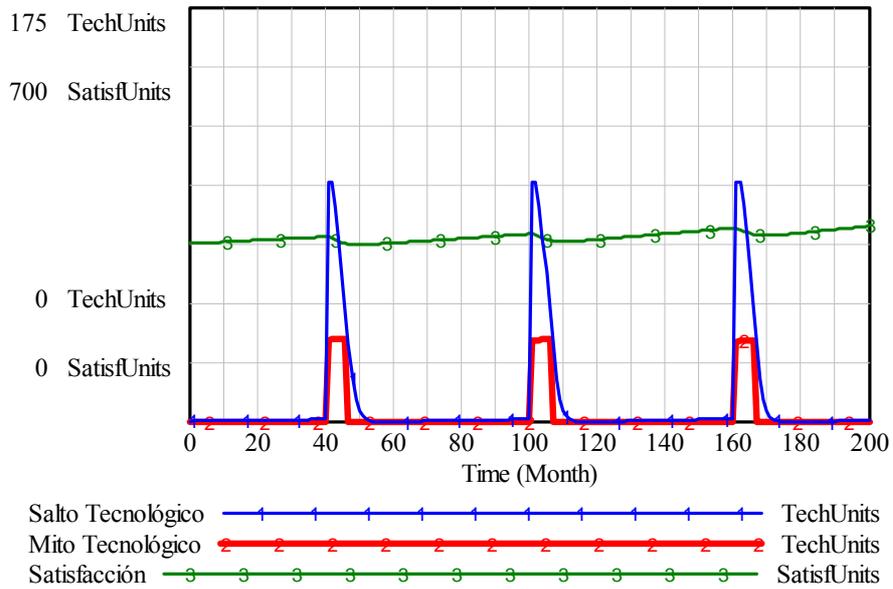


Figura 141. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.

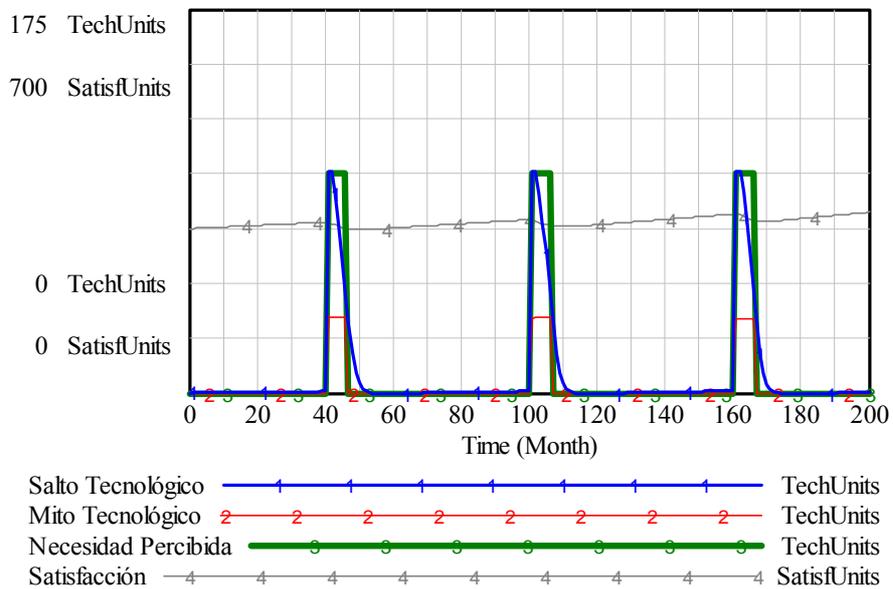


Figura 142. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) con el modelo integrado al que se añadió el comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación.

En el caso de la Figura 138 podemos ver que la variable **satisfacción** es más estable pues se mueve dentro de un margen de viabilidad, con las oscilaciones propias que marcan los ritmos del devenir de la acción de la motivación. En el caso de la Figura 131 la **satisfacción** era una función

monótona creciente que suponía una **satisfacción** que tendía al infinito. Además, en el nuevo comportamiento de la Figura 138 se observa que la influencia de los **Factores Motivacionales** es uniforme y más ligera. Sin embargo la presencia de **Factores Higiénicos** es transitoria e intensa produciendo “ventanas de oportunidad”.

En la Figura 139 se observa que el **Conocimiento TI** se ajusta al **Nivel TI Deseado** según lo previsto en el modo de referencia Modo D (Figura 86).

Es curioso el comportamiento de la Figura 97, que en el caso de no existir la rutina defensiva que limite el **Aprendizaje** por miedo a parecer ignorante (línea 2), la observación más minuciosa de la organización debido a un **Umbral de Percepción** más cercano al plano de la teoría en uso, hace que se produzca un exceso de capacitación. De esta manera, para el segundo pulso esa sobra de **Conocimiento TI** hace que el **Salto Tecnológico** no supere el **Umbral de Percepción**.

El resto de comportamientos permanecen similares con excepción del modo de referencia Modo B (ver Figura 130) cuyo comportamiento actual, como se aprecia en la Figura 137, es más disociado y se asemeja mejor al mostrado en la Figura 75 del capítulo 7.

En el Anexo 2 se recoge este escenario con el conjunto completo de ecuaciones del modelo, junto con las unidades de las variables, que proporciona el software de modelado y simulación Vensim®.

## **9.2 Validación de la arquitectura del modelo integrado**

Como hemos descrito en el apartado 2.2.4.2, la validación de la arquitectura del modelo abarca dos fases: la verificación estructural y la validación del comportamiento.

### **9.2.1 Verificación de la estructura**

Este es un proceso trivial, como ya hemos indicado en el apartado 2.2.4.2, que se puede constatar aplicando las facilidades *Check Model* y *Units Check* de Vensim® sobre las ecuaciones del modelo integrado que se incluyen en el Anexo 2.

### **9.2.2 Validación del comportamiento**

Para validar el comportamiento hemos definido dos métodos: la reproducción del comportamiento previsto y el análisis de sensibilidad.

### 9.2.2.1 Reproducción del comportamiento previsto

Este proceso lo acabamos de presentar en el apartado 9.1.2 donde, para ensamblar los tres sectores, ya hemos comprobado los seis modos de referencia. En la tabla siguiente (Tabla 1) mostramos la correspondencia entre cada modo de referencia definido y las figuras que representan el comportamiento relacionado según el modelo integrado que se adjunta en el Anexo 2.

Modo de referencia	Comportamiento validado
Modo A (Figura 49)	Figura 136
Modo B (Figura 68)	Figura 137
Modo C (Figura 69)	Figura 138
Modo D (Figura 86)	Figura 139
Modo E (Figura 87)	Figura 140
Modo F (Figura 88)	Figura 141 (y Figura 142)

Tabla 1. Correspondencia entre cada modo de referencia y la reproducción cada comportamiento, en el modelo integrado recogido en el Anexo 2.

### 9.2.2.2 Análisis de sensibilidad

Del análisis de sensibilidad individual de cada uno de los tres sectores (ver apartados 6.4.2, 7.4.2 y 8.4.2) hemos detectado una mayor sensibilidad de cada subdiagrama ante los siguientes cuatro parámetros: **Tiempo de Reajuste de Madurez** (Eq. 6-18), **Umbral de Percepción** (Eq. 8-34), **Tasa de Paranoia** (Eq. 8-25) y **Tiempo de Adiestramiento** (Eq. 8-37).

También se ha detectado un quinto factor ante el cual el sistema es sensible, la **Tasa de Crítica** (Eq. 8-26). Las pruebas realizadas en el apartado 8.4.2.2 (ver Figura 116), recomiendan una franja de valores muy estrecha inferior al 5%, por lo que mantenemos constante su valor en  $0.5 \text{ } 1/\text{TechUnits}$ . Esto lo hemos decidido así porque es un parámetro añadido para garantizar la consistencia dimensional y así poder verificar la estructura del modelo. No es un coeficiente que surge del análisis de los modelos mentales o del marco teórico, y que pueda tener sentido como punto clave de intervención ya que el coeficiente que representa el peso del **Mito Tecnológico** es la **Tasa de Paranoia**.

Además se han detectado dos coeficientes, ante los cuales el correspondiente sector era sensible, el **Peso Higiénico** y el **Peso Motivacional**, si bien lo eran en menor medida que los anteriores. Pero, dado que son parte de los parámetros ajustados para acoplar los tres sectores (ver *Eq. 9-1* y *Eq. 9-2*), conviene contrastar su efecto dado que han influido en el ensamblaje de los tres subdiagramas de Forrester.

Por último, han sobresalido los siguientes parámetros: **Tasa de Implicación por Satisfacción** (*Eq. 6-16*), **Tasa de Reajuste de Madurez** (*Eq. 6-17*), **Tiempo de Desánimo por Burnout** (*Eq. 7-19*), **Tiempo de Desánimo por Ignorancia** (*Eq. 7-20*) y **Tiempo de Preparación de la Formación** (*Eq. 8-38*). Sin embargo, el margen de estabilidad para estos coeficientes era mayor y se puede comprobar que sigue siéndolo para el modelo integrado, por lo que no presentamos su análisis.

Por lo tanto en este apartado vamos a mostrar el análisis de sensibilidad del modelo integrado en relación a los parámetros **Peso Motivacional**, **Peso Higiénico**, **Tiempo de Reajuste de Madurez**, **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**.

### **Peso Higiénico y Peso Motivacional**

El efecto sobre la sensibilidad del sistema es bastante similar tanto para el **Peso Higiénico** como para el **Peso Motivacional**, lo cual nos confirma el ajuste realizado en el apartado 9.1.2.

Para un rango de valores cercano del 25% sobre los valores estimados, {0.1875, 0.3125} para el **Peso Higiénico** (*Eq. 9-1*) y {0.046875, 0.078125} para el **Peso Motivacional** (*Eq. 9-2*), los límites de confianza de la variable **Satisfacción** son estrechos al principio y anchos al final del período de la simulación (Figura 143 y Figura 144). La sensibilidad hacia el **Peso Motivacional** es un poco mayor porque la influencia de los factores motivacionales, en este caso la **Madurez**, es constante; mientras que la de los factores higiénicos es esporádica.

Se puede comprobar que el efecto sobre las dos variables de nivel, **Madurez** y **Conocimiento TI**, es difícilmente apreciable, salvo que combinemos el estudio del análisis de sensibilidad con parámetros que relacionan estas dos variables de nivel con la **Satisfacción**. Si los combinamos respectivamente con el **Tiempo de Reajuste de Madurez** o con la **Tasa de Paranoia**, el efecto se traslada en la medida que estos dos parámetros tienen un mayor índice sensibilidad sobre el sistema.

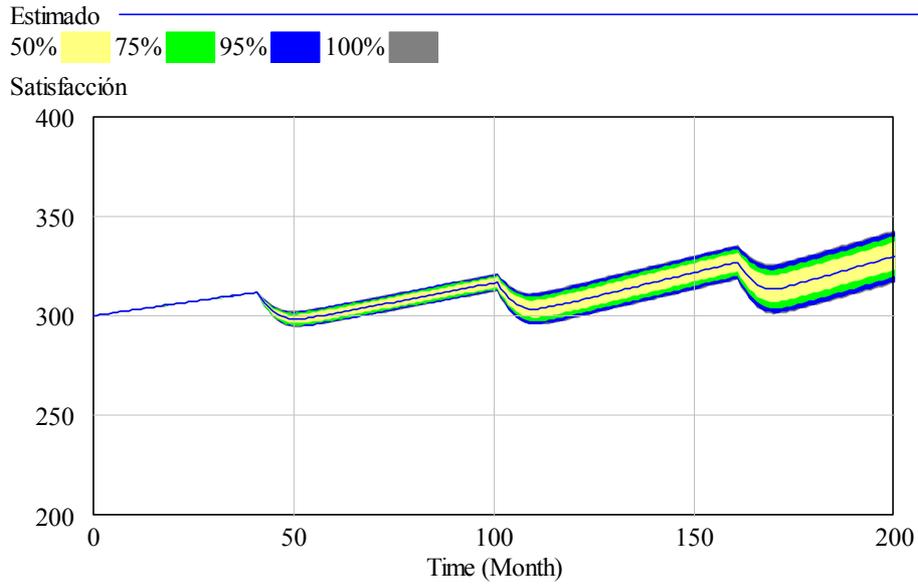


Figura 143. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Higiénico con un valor estimado de 0.25 (adimensional) en el rango {0.1875, 0.3125}.

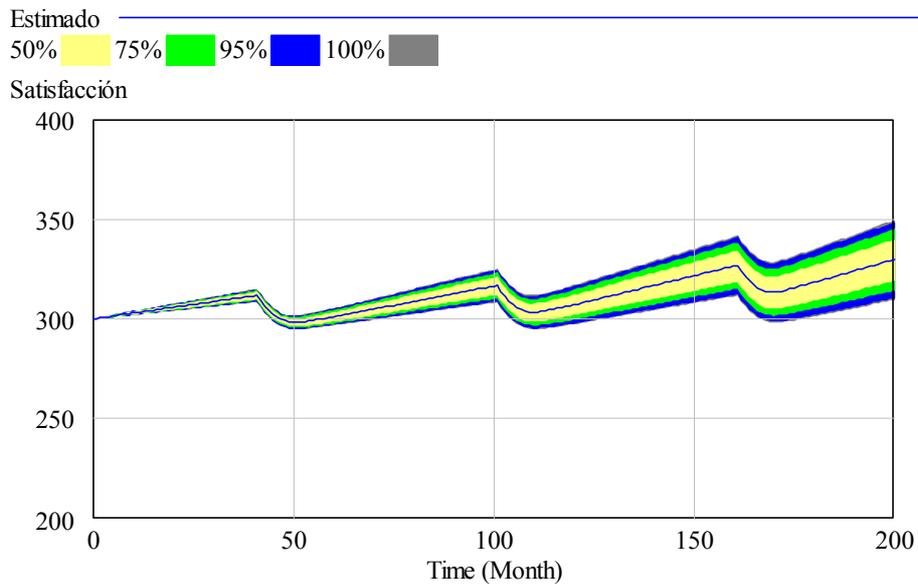


Figura 144. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Motivacional con un valor estimado de 0.0625 (adimensional) en el rango {0.046875, 0.078125}.

A modo de ejemplo, y por no ser demasiado exhaustivos, si realizamos el análisis de sensibilidad con el **Peso Higiénico** combinado con la **Tasa de Paranoia**, -ambos con la misma variación del 25%, el primero en el rango {0.1875, 0.3125} y la segunda en el {0.75, 1.25}-, vemos que el **Conocimiento TI** se ve afectado (Figura 145 y Figura 146) pero no la **Madurez** (Figura 147) dado que es un sector diferente. Además, el rango de

prevalencia de la simulación de la sensibilidad de la **satisfacción** aumenta (Figura 148), como era de esperar, dado que el efecto se refuerza como indica el bucle 6.

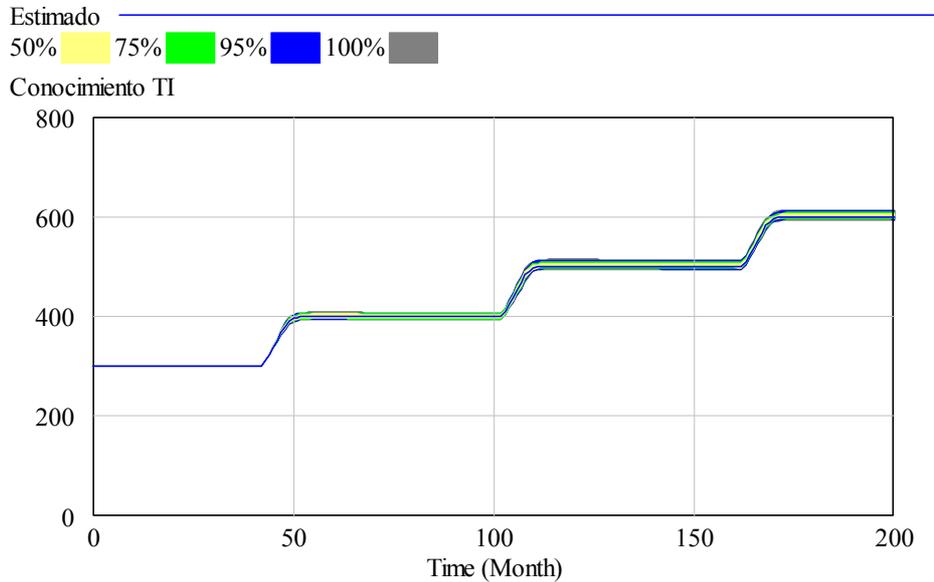


Figura 145. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia.

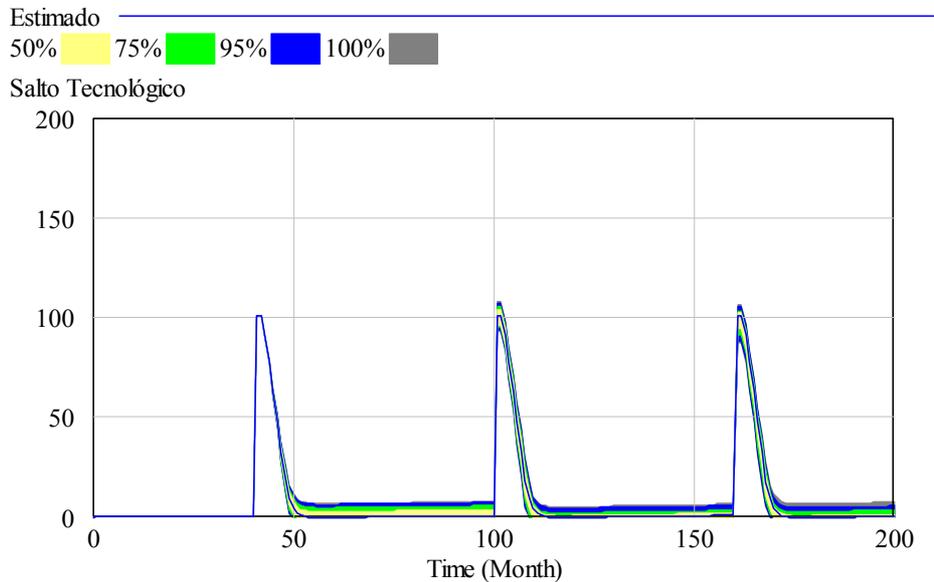


Figura 146. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia.

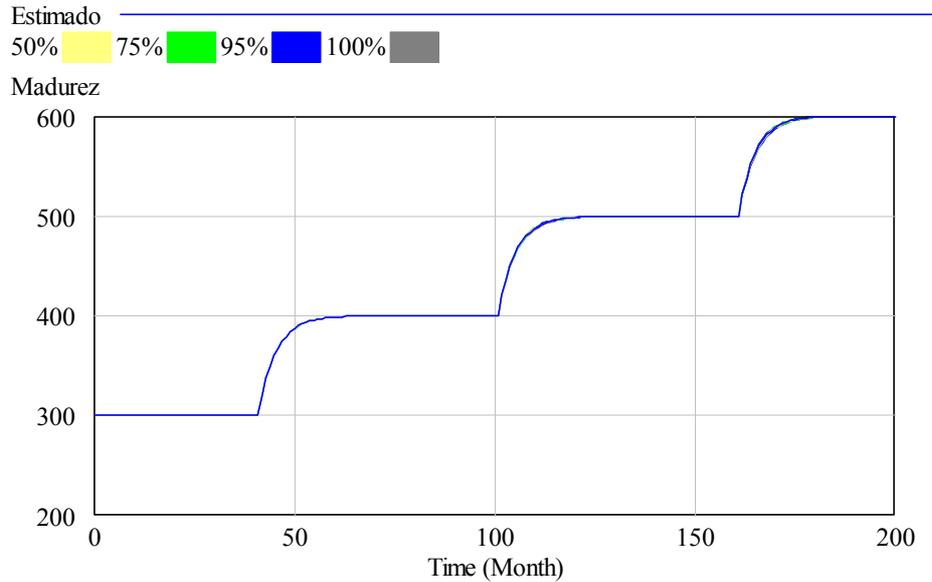


Figura 147. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia.

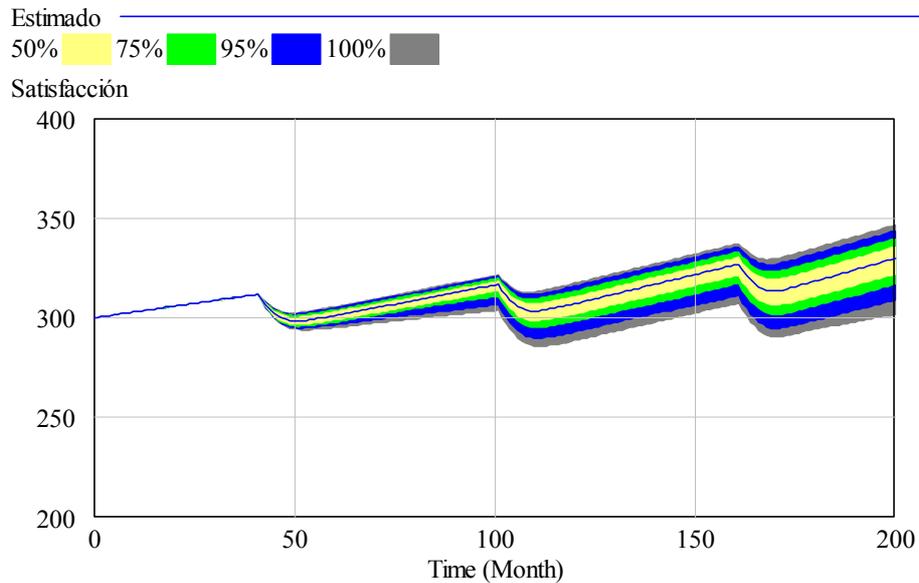


Figura 148. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia.

Estos dos parámetros, el **Peso Higiénico** y el **Peso Motivacional**, son dos parámetros estructurales que no van a ser puntos de influencia sobre los que van a influir los agentes externos. Además, si bien son dos coeficientes que conviene ajustar cuidadosamente, su influencia no se traslada directamente a los otros dos sectores, ya que esto depende de otros parámetros como el **Tiempo de Reajuste de Madurez** o la **Tasa de Paranoia**. Por ello no

vamos a incluir ni el **Peso Higiénico** ni el **Peso Motivacional** en el estudio de comparación de políticas en el apartado 9.3.

### Tiempo de Reajuste de Madurez

Se comprueba que para las mismas condiciones analizadas en el apartado 6.4.2, es decir, para un rango del 25% sobre el valor estimado de 3 (*Month*), {2.25, 3.75}, el comportamiento del modelo es estable. Esto se puede observar en la gráfica de la variable de nivel **Madurez** de la Figura 149 y en la gráfica de su correspondiente variable de flujo **Variación de Madurez** de la Figura 150.

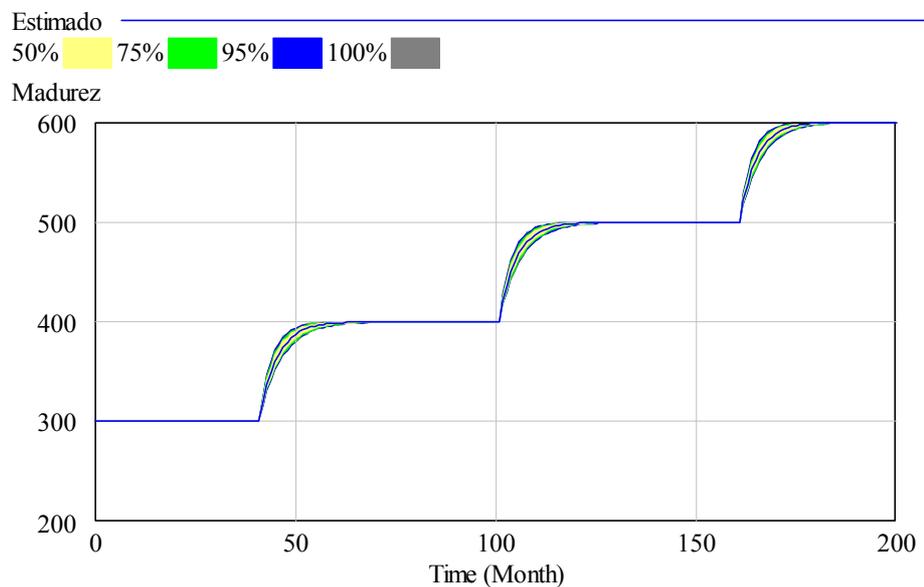


Figura 149. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (*Month*) en el rango {2.25, 3.75}.

Además, hay que subrayar que si confrontamos los comportamientos de la **Variación de Madurez**, tanto del caso aislado del Sector de la Madurez organizacional (Figura 64), como del caso del modelo integrado (Figura 150), podemos comprobar que son prácticamente iguales.

También se puede comprobar que, al igual que en el caso de la Figura 65, este es el parámetro del Sector de la Madurez organizacional para el cual el sistema se muestra más sensible para márgenes superiores como el 50%. Esto lo podemos ver en la Figura 151 que para el espectro de valores de {1.5, 4.5}.

Por último, se comprueba que la incertidumbre que se genera en la **Madurez** (Figura 149) apenas se traslada a la variable **satisfacción** como muestra la Figura 152.

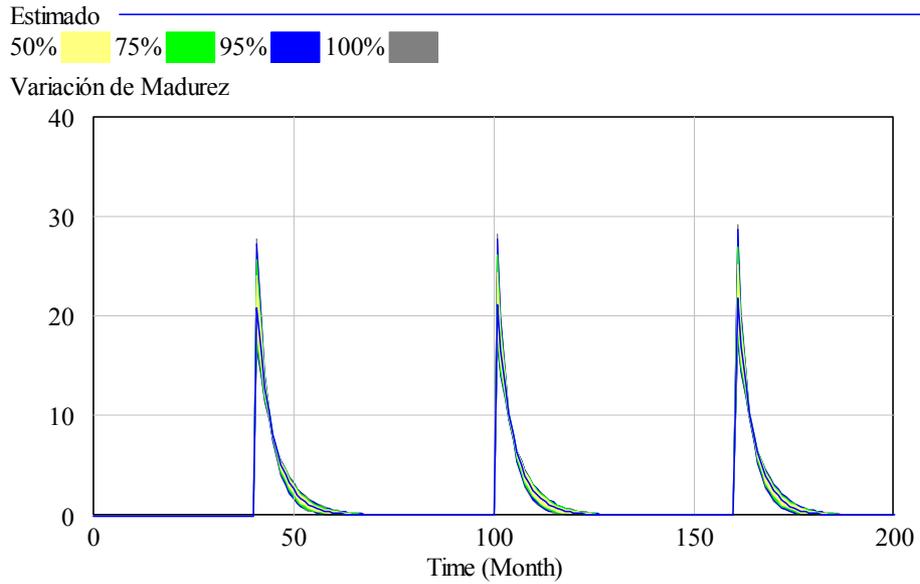


Figura 150. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango  $\{2.25, 3.75\}$ .

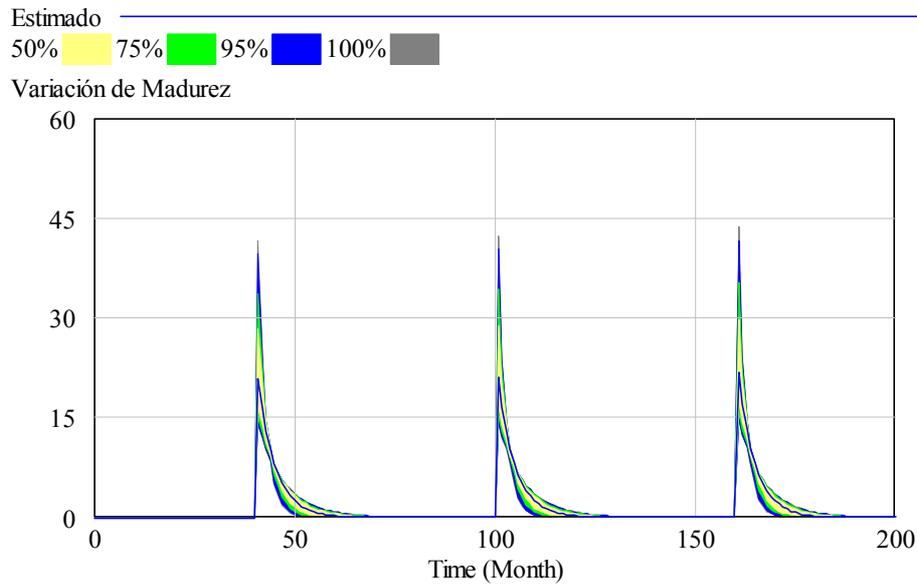


Figura 151. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango  $\{1.5, 4.5\}$ .

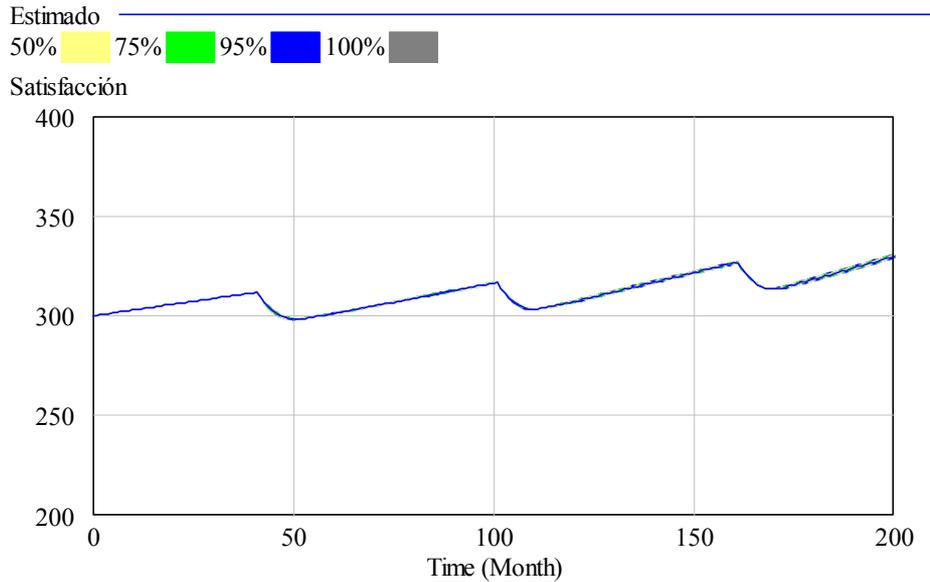


Figura 152. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango {2.25, 3.75}.

### Umbral de Percepción

Como hemos visto en el capítulo 8, el **Umbral de Percepción** indica la distancia entre el plano de la teoría expuesta y el plano de la teoría en uso. Además, su ajuste es más delicado porque puede aparecer un **Salto Tecnológico** latente, por lo que su valor debía ser estrictamente menor de  $0.5 \text{ TechUnits/MaturUnits}$  (Eq. 8-36). En el estudio del apartado 8.4.2.3 veíamos que un valor apropiado, acoplado con el **Tiempo de Preparación de la Formación** y el **Tiempo de Adiestramiento**, era de  $0.375 \text{ TechUnits/MaturUnits}$  (Eq. 8-34).

Para las mismas condiciones que en el apartado 8.4.2.3, es decir, un rango de valores del 25% {0.28125, 0.46875}, podemos comprobar en la Figura 153 y en la Figura 154 que el grado de incertidumbre es similar. Concretamente podemos comprobar que la sensibilidad del **salto Tecnológico** tanto en el subdiagrama aislado (Figura 127) como en el modelo integrado (Figura 154) es equivalente.

Si lo analizamos con un espectro mayor en el se pueda considerar el valor límite de  $0.5 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ , el sistema se desestabiliza. Basta con un abanico de valores del 33%, {0.25, 0.5}, para obtener los resultados de la Figura 155, la Figura 156 y la Figura 157. Se puede apreciar que aparece un posible riesgo de **salto Tecnológico** latente, lo cual hace que la **satisfacción** se desequilibre.

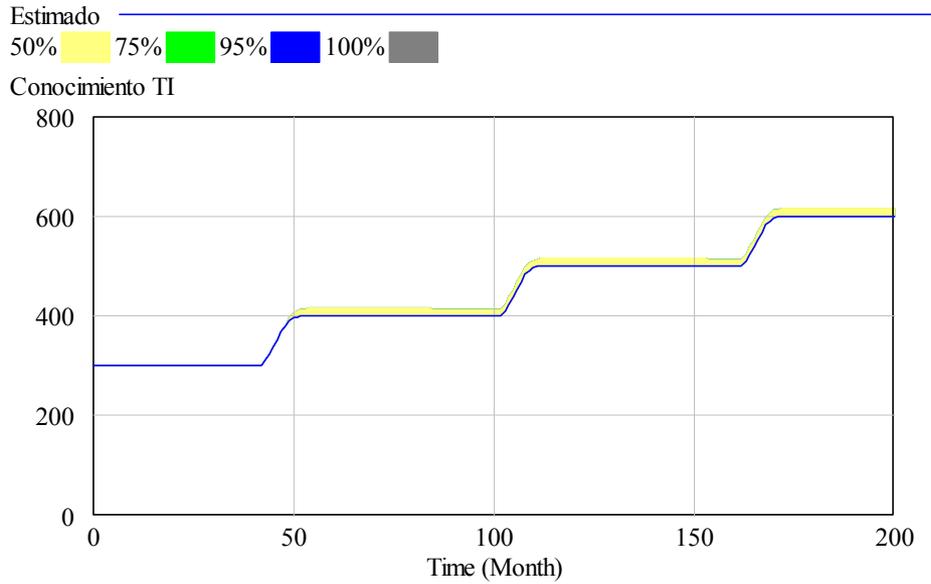


Figura 153. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango  $\{0.28125, 0.46875\}$ .

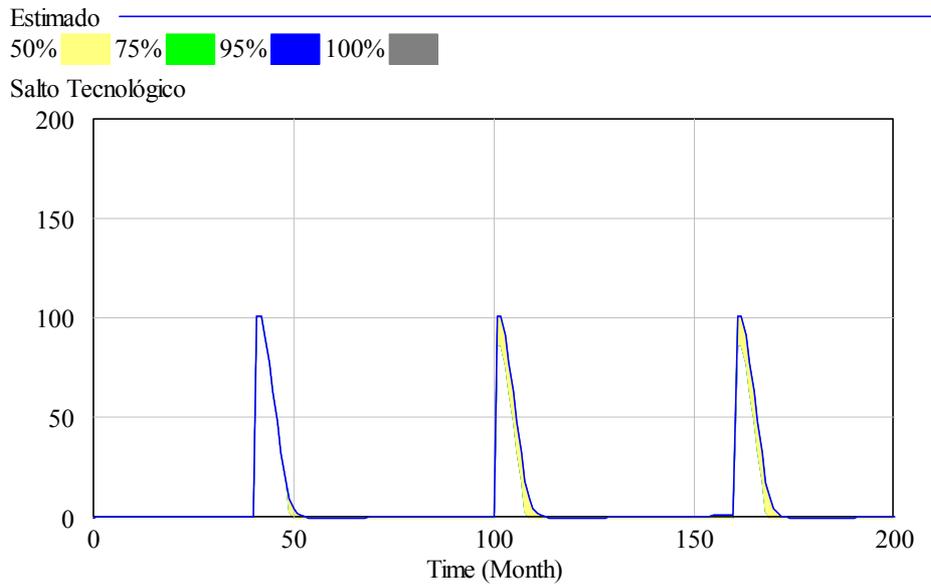


Figura 154. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango  $\{0.28125, 0.46875\}$ .

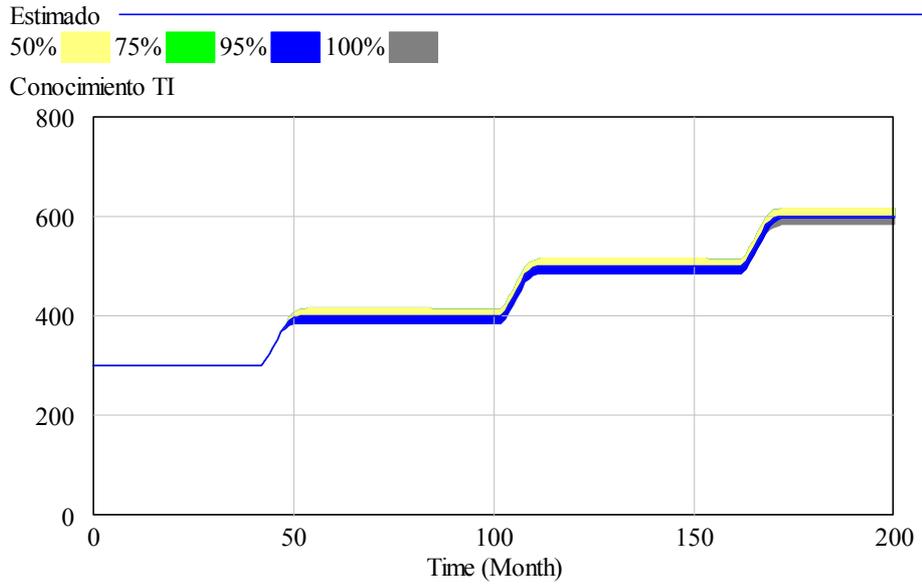


Figura 155. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.25, 0.5}.

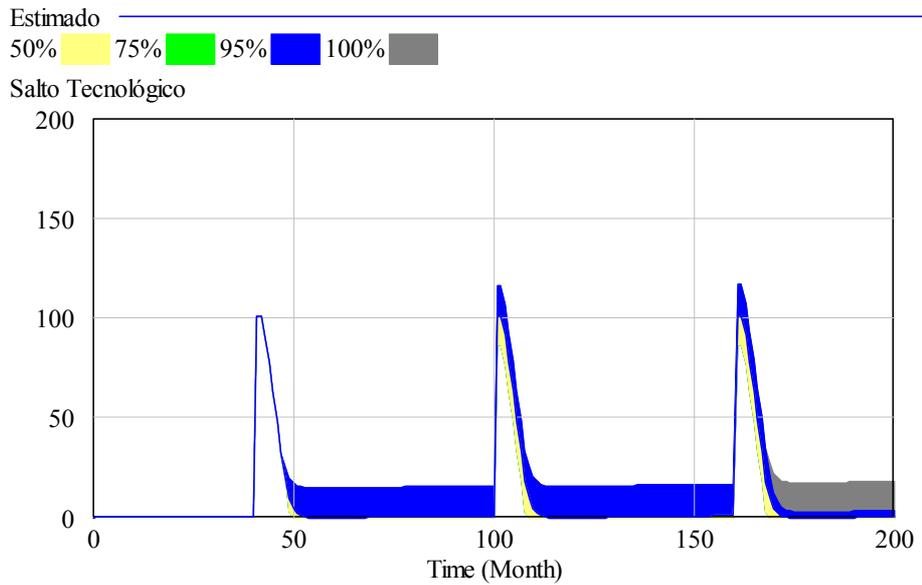


Figura 156. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.25, 0.5}.

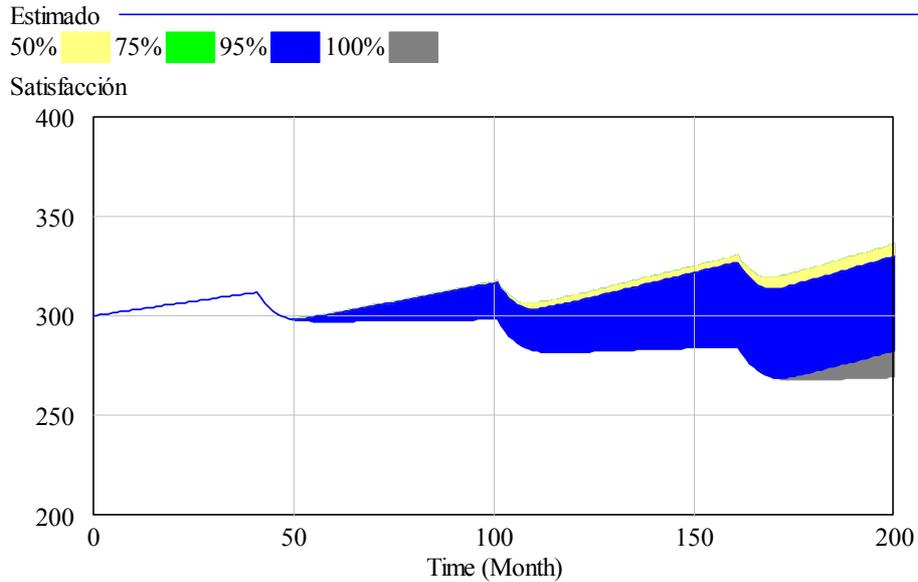


Figura 157. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango  $\{0.25, 0.5\}$ .

### Tasa de Paranoia

La **Tasa de Paranoia** se comporta con un margen de confianza semejante al del apartado 8.4.2.3 (ver Figura 126). En la Figura 158 podemos comprobar que para un rango de valores del 12.5% sobre el valor estimado de  $1/SatisfUnits$ ,  $\{0.875, 1.125\}$ , la respuesta es similar.

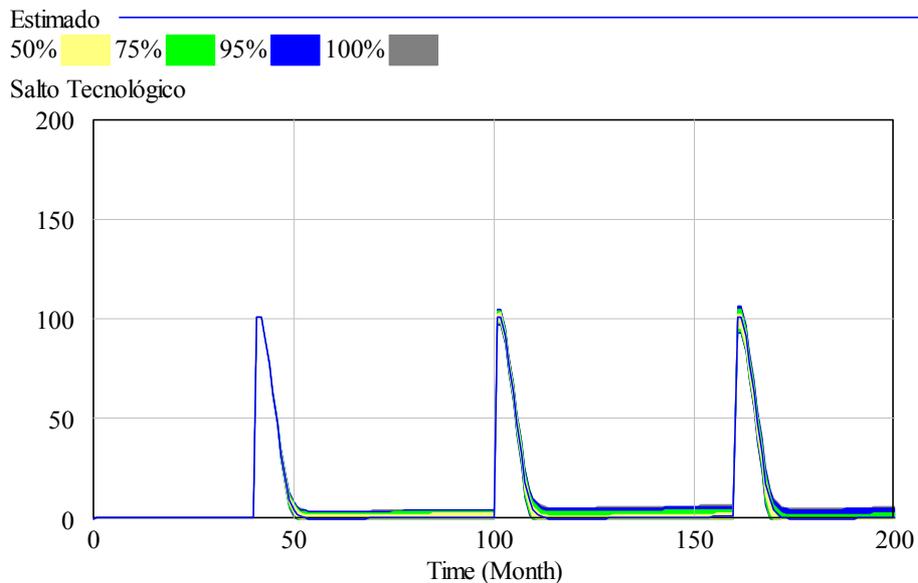


Figura 158. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango  $\{0.875, 1.125\}$ .

Al igual que en el estudio aislado del “Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI”, para valores dentro del rango  $\{0, 2\}$  la respuesta está delimitada, si bien la sensibilidad aumenta notablemente (ver Figura 159).

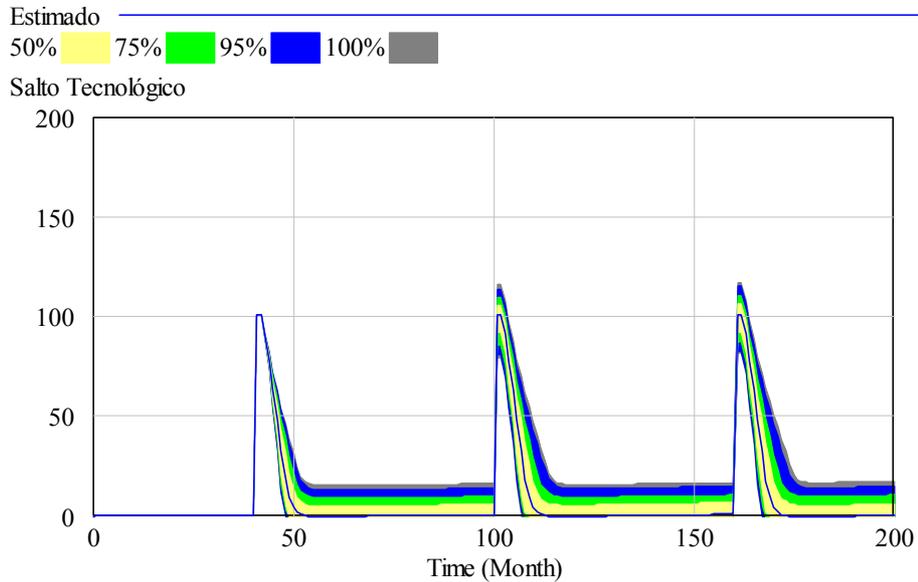


Figura 159. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango  $\{0, 2\}$ .

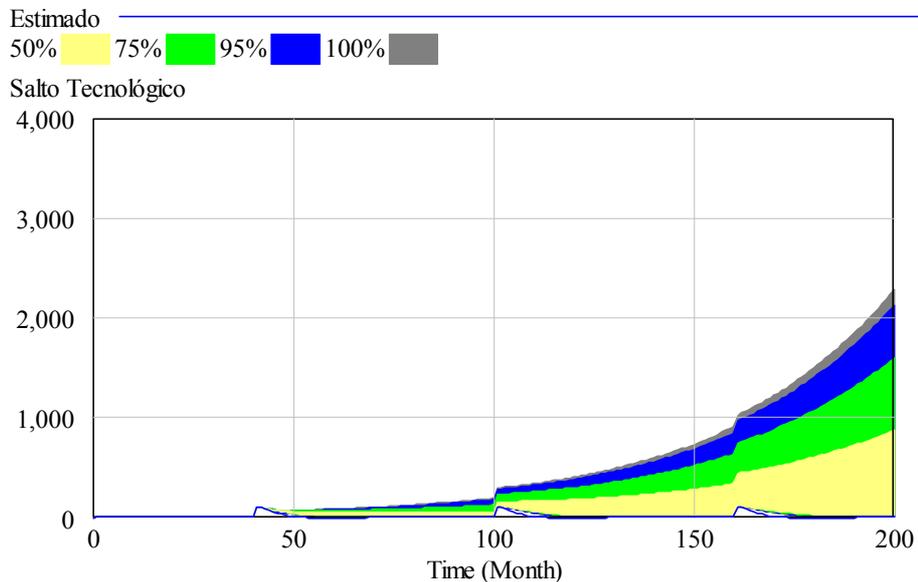


Figura 160. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango  $\{2, 3\}$ .

Y del mismo modo que en el capítulo 8, para valores superiores a  $2 \cdot 1/SatisfUnits$ , el sistema se descontrola como se aprecia en la Figura 160, trasladándose el efecto a las tres variables de nivel (Figura 161, Figura 162 y Figura 163). Como hemos señalado, esto no tendría sentido real porque

significaría una anulación completa del **Conocimiento TI**, incluso alcanzaría valores negativos.

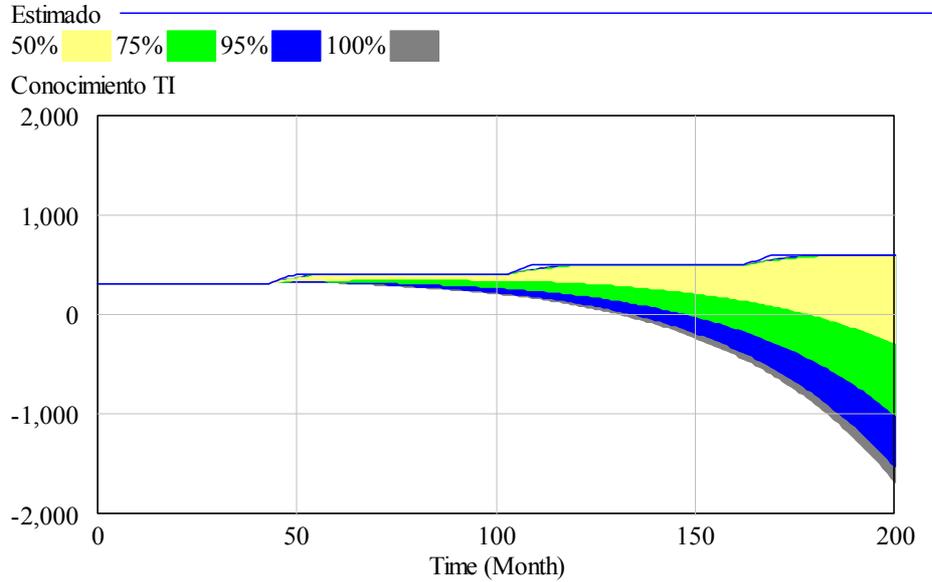


Figura 161. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.

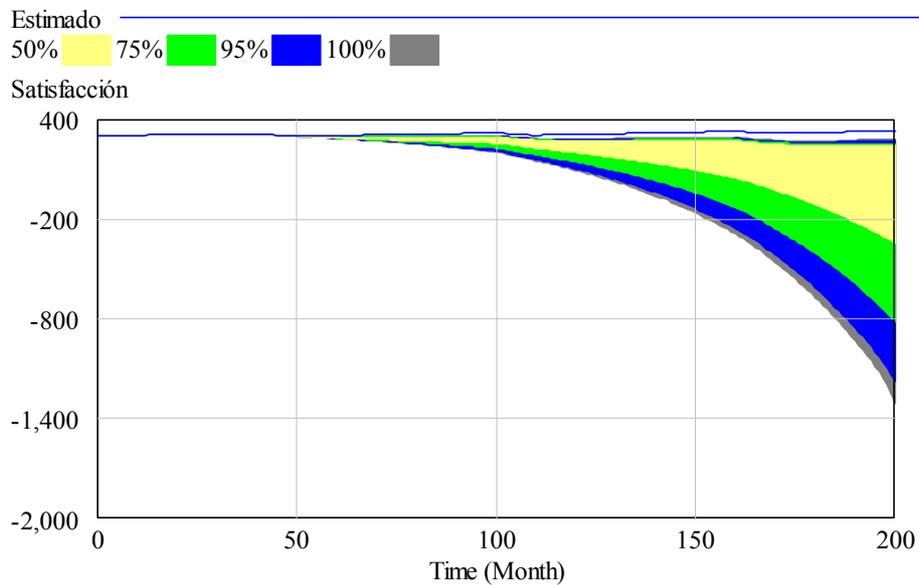


Figura 162. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.

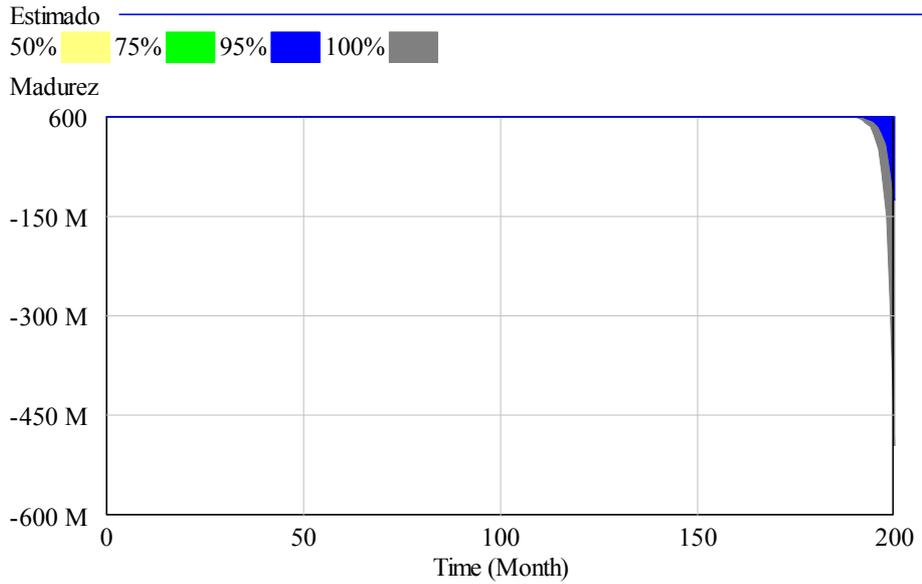


Figura 163. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.

### Tiempo de Adiestramiento

En la Figura 124 del apartado 8.4.2.3 hemos visto que la respuesta era muy sensible al **Tiempo de Adiestramiento**, la cual era aceptable para un rango del 5% en torno al valor  $2.25 \text{ Month}$ , {2.125, 2.375}. En el caso del modelo integrado para los mismos valores, la sensibilidad es similar e incluso aumenta un poco, como se ve en la Figura 164 y en la Figura 165.

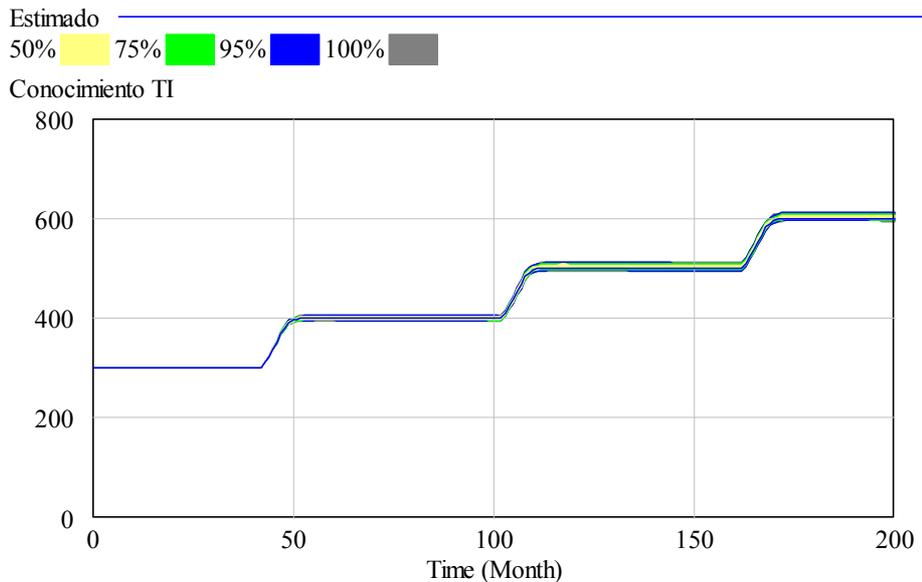


Figura 164. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Tiempo de Adiestramiento en el rango {2.125, 2.375}.

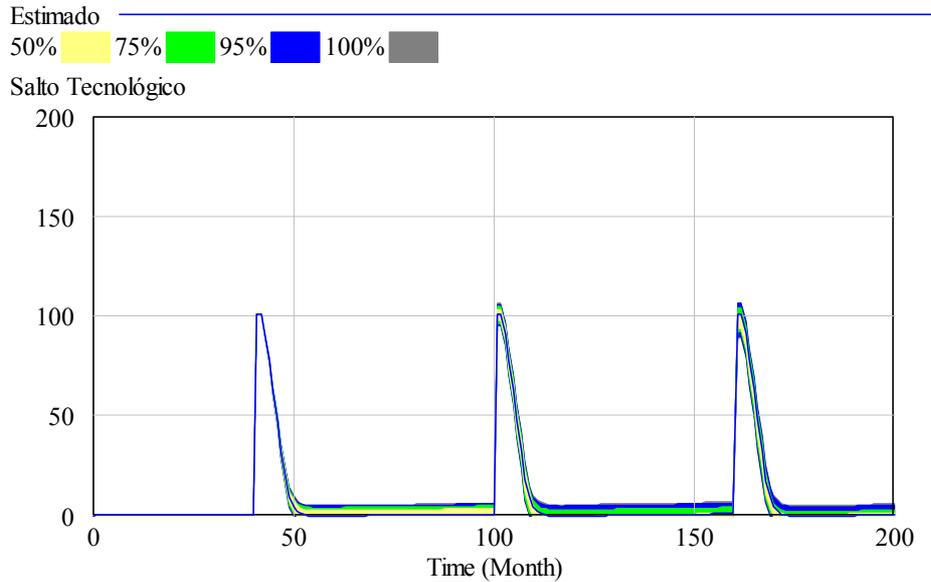


Figura 165. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Tiempo de Adiestramiento en el rango  $\{2.125, 2.375\}$ .

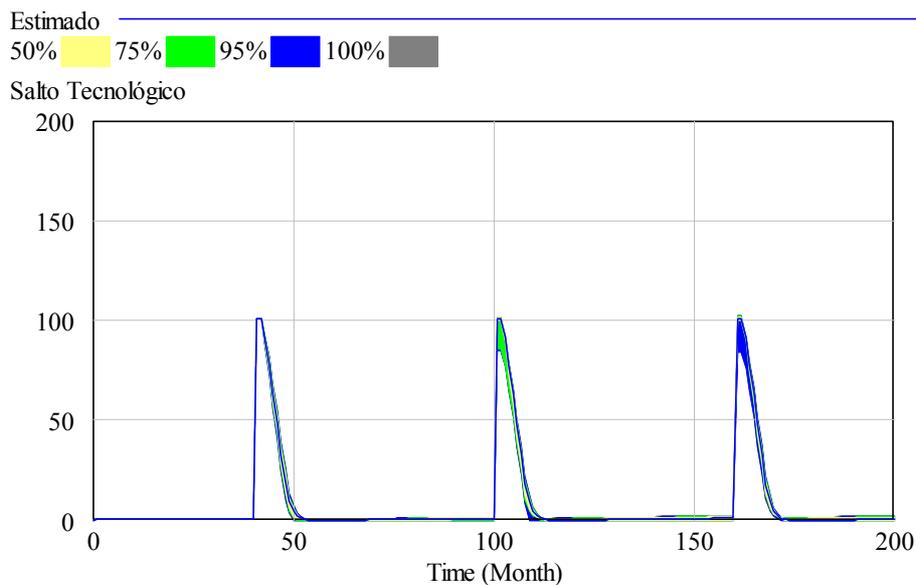


Figura 166. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Tiempo de Preparación de la Formación en el rango  $\{1.5, 2.5\}$ .

También hemos observado que el **Tiempo de Preparación de la Formación** y el **Tiempo de Adiestramiento** debían mantener cierta armonía. Pero en el caso del **Tiempo de Preparación de la Formación** el sector era más estable como se veía la Figura 125 para un espectro del 25% sobre el valor estimado de  $2 \text{ Month}$ ,  $\{1.5, 2.5\}$ . Esto se evidencia en la Figura 166 donde apenas se percibe salto Tecnológico fuera de la “ventana de oportunidad”.

### 9.2.3 Confianza en la arquitectura del modelo

Se verifica la estructura del modelo resultante de la integración de los tres sectores integrado, dado que es sintácticamente correcta y dimensionalmente coherente. Igualmente se valida su arquitectura porque, por un lado, reproduce el comportamiento previsto en los modos de referencia; y porque, a su vez, tras el análisis de sensibilidad se confirma que el modelo es sensible a los cuatro parámetros detectados en los capítulos 6, 7 y 8: **Tiempo de Reajuste de Madurez**, **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**. Estos tres últimos parámetros van a ser los puntos clave de intervención para definir los diferentes escenarios. Lo cuál es coherente con el análisis del problema porque el **Umbral de Percepción** nos indica la percepción por parte de la organización de la realidad del proceso de aprendizaje de las personas de la misma, la **Tasa de Paranoia** representa la susceptibilidad de las personas ante la presión del elogio de las tecnologías informáticas y el **Tiempo de Adiestramiento** nos revela la capacidad, o velocidad, de aprendizaje inherente a las personas.

## 9.3 Análisis de escenarios

Una vez validada la arquitectura del modelo integrado, procedemos a aumentar la confianza en el mismo, comprobando su robustez y elasticidad medio del análisis del funcionamiento de una serie de escenarios alternativos y representativos. Como hemos indicado en el apartado 2.2.4.2, incorporar al modelo conocimiento ajeno a las condiciones controladas, se refuerza su comprensión y su utilidad y, en consecuencia, su confianza.

### 9.3.1 Descripción de los escenarios

Vamos a trabajar con seis escenarios diferentes sobre la base del modelo integrado en este capítulo, presentado en el Anexo 2, y los puntos clave de intervención detectados en el apartado anterior, para los cuales el sistema es sensible: los parámetros **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**.

A cada escenario lo hemos bautizado con un nombre que lo identifique y que evoque más fácilmente el contexto en el que se mueve. Los seis escenarios elegidos son:

- **Equilibrio**. Es el modelo ajustado en este apartado y que sirve de referencia para los demás escenarios. Es la agregación armonizada de los tres sectores estudiados en los capítulos 6, 7 y 8 y que se adjunta en el Anexo 2. Responde a los modos de referencia establecidos y su arquitectura es la que ha sido validada en este capítulo.

Los valores básicos de los tres parámetros de intervención son:

$$\text{Umbral de Percepción} = 0.375 \text{ (TechUnits/MaturUnits)}$$

$$\text{Tasa de Paranoia} = 1(1/\text{SatisfUnits})$$

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 2.25(\text{Month})$$

- **Desidia.** Como hemos explicado en detalle en el capítulo 8 (ver apartado 8.1.1) y siguiendo las propuestas de Argyris y Schön, el modelo considera que existen dos planos: el plano de la teoría expuesta en el que la organización promueve una actitud positiva hacia las tecnologías informáticas y el plano de la teoría en uso en el que surge una rutina organizacional defensiva que elogia la tecnología evitando discusiones y reflexiones críticas por miedo a parecer ignorante.

Los líderes se mueven en el plano de su teoría expuesta y promueven actividades de formación en función de la **Necesidad Percibida de Formación**, que recoge su percepción del **Salto Tecnológico** condicionada por una visión apriorística de las necesidades tecnológicas, el **Nivel TI Deseado**. En otras palabras, la organización de actividades de capacitación no depende directamente del **salto Tecnológico** real, de la teoría en uso, sino que depende de cómo los responsables perciben tales necesidades de formación.

La distancia entre ambos planos viene determinada por el **Umbral de Percepción**, de forma que si el **salto Tecnológico**, que se produce en el plano de la teoría en uso, supera dicho límite será percibido por los responsables de la organización. Por tanto un valor bajo del **Umbral de Percepción** significa una mayor cercanía entre ambos planos, es decir, una observación minuciosa y cercana. Por el contrario, valores altos, significan mayor distancia o miopía por parte de los líderes. En el estudio realizado en el apartado 8.4.1.2 hemos concluido que un valor equilibrado era  $0.375 \text{ TechUnits/MaturUnits}$  (Eq. 8-34).

En este escenario vamos a considerar el caso de organizaciones con cierta cortedad de miras, más despreocupadas o poco exigentes. Por este motivo hemos llamado al escenario “Desidia”. Y lo vamos a caracterizarlo duplicando el valor del **Umbral de Percepción** a  $0.75 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ ., manteniendo los otros dos coeficientes iguales al escenario “Equilibrio”.

Por tanto, los valores de los tres parámetros de intervención que definen el escenario “Desidia” son:

$$\text{Umbral de Percepción} = 0.75 \text{ (TechUnits/MaturUnits)}$$

$$\text{Tasa de Paranoia} = 1(1/\text{SatisfUnits})$$

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 2.25(\text{Month})$$

- **Ineptitud.** Otro de los casos que nos podemos encontrar es que las personas de la organización carezcan de las competencias necesarias para el aprendizaje o que su velocidad sea lenta. El parámetro que representa la demora desde que se lanzan las actividades de formación hasta que se produce el aprendizaje es el **Tiempo de Adiestramiento**.

Este factor no puede ser gestionado por la organización porque es propio de cada persona. Un valor elevado supone una velocidad de aprendizaje más lenta, lo cual puede significar que si se suspendiera el proceso de formación porque se hubiera alcanzado el **Umbral de Percepción**, las personas con un ritmo más lento no tendrían el tiempo suficiente para completar su capacitación (ver Figura 111).

Al escenario que recoge esta incapacidad de las personas para seguir un determinado ritmo de aprendizaje lo hemos llamado “Ineptitud”. Y lo caracterizamos al igual que en el escenario anterior, doblando el correspondiente valor del **Tiempo de Adiestramiento** (Eq. 8-37), para que la velocidad de aprendizaje se ralentice. Así, el valor del **Tiempo de Adiestramiento** será **4.5 Month**. En consecuencia, los valores de los tres parámetros de intervención que caracterizan el escenario “Ineptitud” son:

$$\text{Umbral de Percepción} = 0.375 \text{ (TechUnits/MaturUnits)}$$

$$\text{Tasa de Paranoia} = 1(1/\text{SatisfUnits})$$

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 4.5(\text{Month})$$

- **Recelo.** En el plano de la teoría en uso, el individuo desarrolla una rutina organizacional defensiva ante la presión de la organización que promueve la innovación y el aprendizaje de tecnologías informáticas. La organización se mueve en el plano de la teoría expuesta impulsando el aprendizaje con la presunción de que el no uso de las herramientas introducidas se debe a una carencia de conocimientos informáticos. La percepción por parte de las personas de que la tecnología es incuestionable y de no hay lugar a discrepancias genera que se idealice la tecnología, el **Mito Tecnológico**, y que, en consecuencia, se evite la reflexión y la crítica por miedo a parecer ignorante, dificultando la capacidad de aprendizaje. Los líderes perciben esto como algo

paradójico, cuanto más se fomenta aprender, mayores son las barreras para el aprendizaje (ver 8.2.2).

En el apartado 8.2.3 también hemos visto que el individuo puede ser más o menos sensible a la influencia del elogio de la tecnología y a crear rutinas organizacionales defensivas en función de su autoestima y de la propia **satisfacción**. El nivel de sensibilidad de cada individuo ante la influencia del **Mito Tecnológico** sobre la base de la **satisfacción** lo medimos con el parámetro **Tasa de Paranoia**. De forma que personas con una autoestima mayor tendrán una **Tasa de Paranoia** más baja, y será más fácil que adquieran confianza para opinar. Y viceversa, valores elevados de la **Tasa de Paranoia** son propios de personas con una baja autoestima, más susceptibles a sentirse rechazadas por ser ignorantes, en definitiva, más paranoicas.

En este escenario recogemos un contexto con personas más suspicaces y proclives a crear rutinas organizacionales defensivas sólidas. Para ello, daremos a la tasa el valor  $2.375 \cdot 1/SatisfUnits$  (hemos elegido un valor un poco mayor del doble para que se perciba mejor el efecto sobre la variable **Aprendizaje**). A este escenario donde destaca la desconfianza de las personas de la organización lo denominamos “Recelo” y los correspondientes valores de los tres parámetros de intervención son:

Umbral de Percepción =  $0.375 (TechUnits/MaturUnits)$

**Tasa de Paranoia** =  $2.375(1/SatisfUnits)$

Tiempo de Adiestramiento =  $2.25(Month)$

- **Utopía.** Como hemos indicado en el apartado 2.2.4.2, conviene examinar los modelos en condiciones extremas, aunque nunca se hayan dado o no se vayan a dar en el mundo real. Someter el modelo a tales situaciones ayuda a localizar defectos y facilita una mejor comprensión del mismo. En este caso hemos definido dos escenarios extremos, uno en un entorno ideal que hemos llamado “Utopía” y otro, denominado “Babel”, en condiciones adversas.

Para el mejor escenario hemos elegido el nombre “Utopía” en referencia a la obra del humanista inglés, y amigo íntimo de Erasmus von Rotterdam, Thomas More (en castellano, Tomás Moro). La isla de Utopía es un estado ficticio ideal donde no existe el dinero ni la propiedad privada. La obra hay que entenderla en su contexto histórico del Renacimiento en pleno apogeo del descubrimiento de nuevas tierras

para los europeos. Thomas More plantea unas condiciones extremas para resaltar sus ideales humanistas en los seres humanos deben convivir en armonía y la sociedad debe tender hacia la justicia y la igualdad. Aprovecha este escenario inalcanzable para criticar la sociedad de la época (el absolutismo, los excesos de la nobleza, el afán de poder, el abandono de los ideales cristianos, la miseria,...).

Nuestro escenario utópico recoge los tres coeficientes que se empeoran aisladamente en cada uno de los tres escenarios anteriores “Desidia”, “Ineptitud” y “Recelo”, para mejorarlos en sentido contrario. Nos encontraríamos ante una organización más concienzuda y vigilante, con personas más competentes y despiertas, con una mayor autoestima e ilusionadas.

Para ello hemos reducido a la mitad los valores de los tres parámetros de intervención del escenario “Equilibrio” de la forma:

**Umbral de Percepción = 0.125** (*TechUnits/MaturUnits*)

**Tasa de Paranoia = 0.5**(*1/SatisfUnits*)

**Tiempo de Adiestramiento = 1**(*Month*)

- **Babel.** En el otro extremo proponemos un escenario que tiende al caos y al desconcierto. A este escenario lo hemos denominado “Babel” en alusión a la Torre de Babel del Antiguo Testamento<sup>60</sup> que es un símbolo de confusión y desunión. El relato bíblico narra que después del diluvio los hombres decidieron levantar una torre gigantesca cuya cúspide llegara hasta el cielo. Entonces Yahveh decidió castigar la vanidad del hombre e hizo que comenzaran a hablar diferentes lenguas, ya que sólo se hablaba una sola lengua en la tierra. Esta confusión<sup>61</sup> provocó que los hombres abandonaran su objetivo por falta de entendimiento, que se dividieran en tribus y que se dispersaran.

“Babel” es un escenario que recoge conjuntamente las debilidades de los escenarios “Desidia”, “Ineptitud” y “Recelo”, convirtiéndose en el polo opuesto de la “Utopía”. Tendríamos, por tanto, una organización miope y descuidada, con personas incompetentes y limitadas que además serían inseguras y desconfiadas.

---

<sup>60</sup> Génesis 11:1-9.

<sup>61</sup> “Babel” significa “confusión” en hebreo.

Los valores de los tres parámetros de intervención son los tres que se han modificado en los respectivos escenarios “Desidia”, “Ineptitud” y “Recelo”:

**Umbral de Percepción = 0.75** (*TechUnits/MaturUnits*)

**Tasa de Paranoia = 2.375**(*1/SatisfUnits*)

**Tiempo de Adiestramiento = 4.5**(*Month*)

En la Figura 167 podemos ver una representación espacial de los seis escenarios tomando como ejes los tres puntos clave de intervención: parámetros **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**.

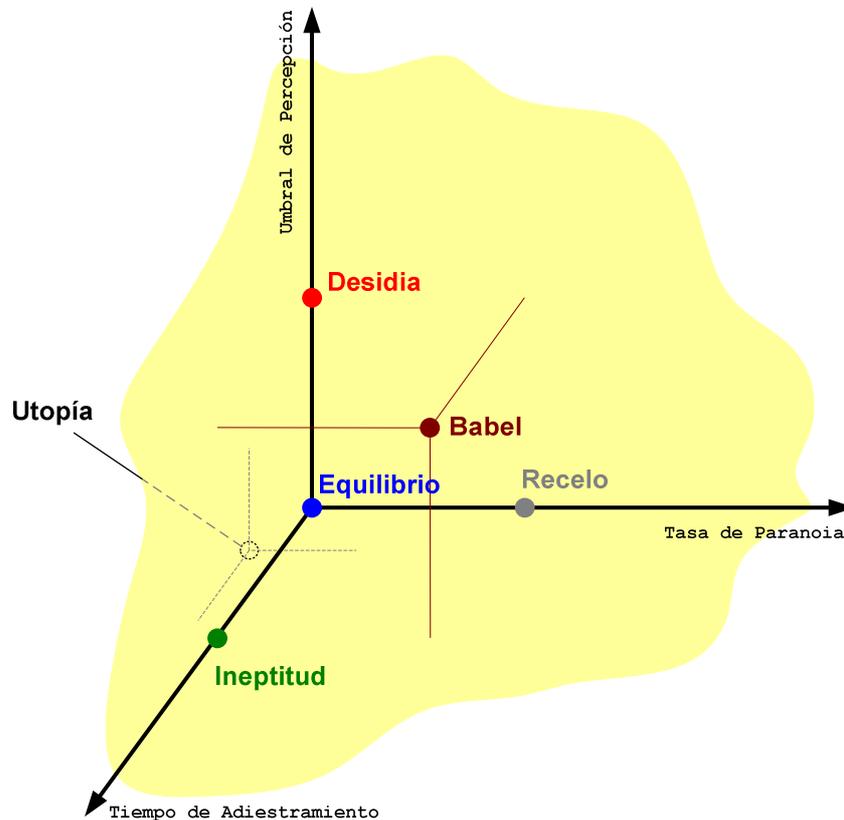


Figura 167. Representación espacial de los seis escenarios.

El origen de las tres coordenadas lo situamos en el escenario “Equilibrio”, de forma que cuanto mayor sea el valor de cada eje, peores serán las condiciones. Así, en el eje del **Umbral de Percepción** nos encontramos el escenario “Desidia”, es decir, a mayor umbral, mayor despreocupación. En el eje del **Tiempo de Adiestramiento** está el escenario “Ineptitud”: a mayor retardo,

mayor incompetencia. Y en el eje de la **Tasa de Paranoia** nos encontramos el escenario “Recelo”: a mayor paranoia, mayor miedo.

Por lo tanto el primer octante nos muestra la región de los contextos más desfavorables. Podemos observar que el escenario peor, “Babel”, se encuentra en la bisectriz del primer octante, alejándose del origen o “Equilibrio”. Por el contrario, en el octante opuesto podemos ver el escenario más optimista, “Utopía”, que se aleja del origen por su bisectriz pero en sentido contrario.

El comportamiento que se puede esperar es que los escenarios situados en los ejes, “Desidia”, “Ineptitud” y “Recelo”, mostrarán un empeoramiento de los distintos indicadores de forma similar<sup>62</sup>. Es decir, se ralentizará la **Madurez**, caerá la **satisfacción** y se generará un **Salto Tecnológico** latente. Para el caso del escenario ideal, “Utopía”, deberíamos ver que el sistema madurará antes, que la **satisfacción** crecerá y que se rebasará el **Nivel TI Deseado**. Por el contrario, para el escenario “Babel” el sistema deberá tender al colapso.

### 9.3.2 Comportamiento comparado de los escenarios

En el apartado 5.1 tras realizar la captura del conocimiento experto capturado, hemos establecido los límites del modelo e identificado las variables clave. Las variables clave, con excepción del **Impulso Externo** que es exógena, van a constituir el conjunto de indicadores que nos van a mostrar el comportamiento de cada uno de los escenarios del modelo. Por tanto los indicadores del comportamiento serán las tres variables de nivel (**Madurez**, **Satisfacción** y **Conocimiento TI**) y cinco variables auxiliares (**Sobrecarga de Trabajo**, **Salto Tecnológico**, **Formación**, **Necesidad Percibida de Formación** y **Mito Tecnológico**). Pero además, coyunturalmente vamos a incluir otras variables, como las variables auxiliares **Implicación Personas** y **Crítica** o la variable de flujo **Aprendizaje** porque nos van a ayudar a entender ciertos comportamientos de determinados escenarios no previstos, o al menos que pueden llamar la atención, que debe contribuir a afianzar la confianza en el modelo.

En la Figura 168 mostramos el esquema del proceso de comparación de los seis escenarios. En el modelo actuaremos sobre los tres puntos clave de intervención que definen un escenario (**Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**) y obtendremos una visión del comportamiento con los nueve indicadores señalados en el párrafo anterior.

---

<sup>62</sup> El comportamiento del escenario “Recelo” debería ser un poco peor porque hemos elegido un valor de la **Tasa de Paranoia** un poco mayor para que se perciba mejor el efecto en la variable **Aprendizaje**.

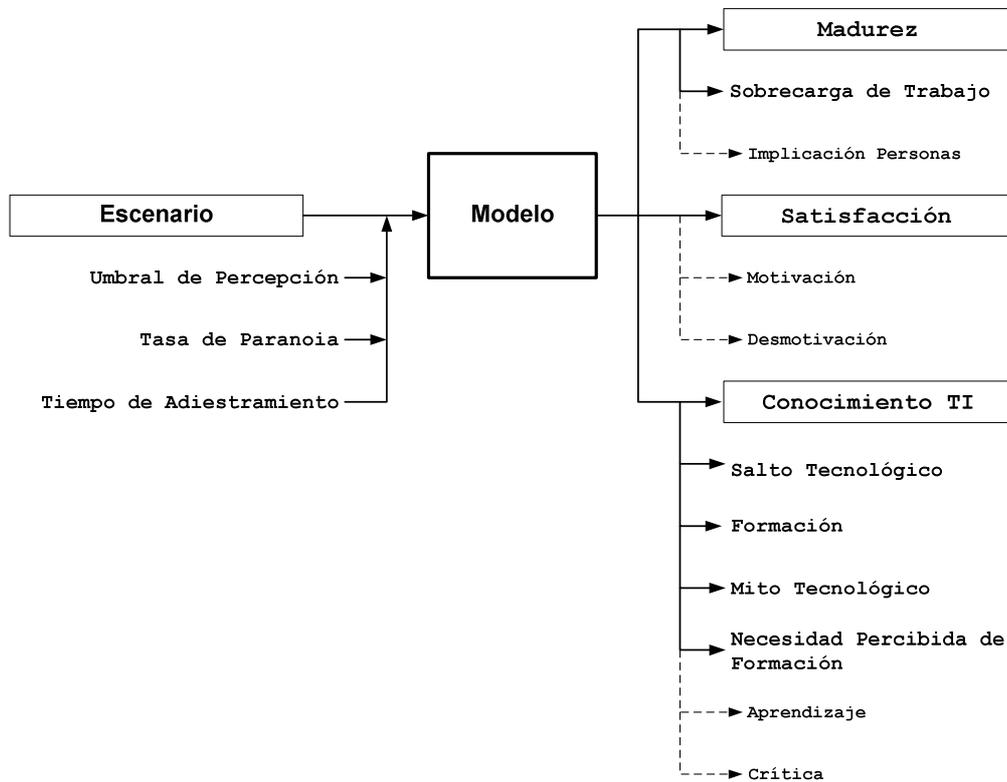


Figura 168. Esquema del proceso de comparación de los seis escenarios.

En la Tabla 2 presentamos el resumen de los escenarios. Por un lado se recogen los valores que singularizan cada uno de ellos en forma de tupla con los valores de las tres coordenadas o parámetros (**Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia**, **Tiempo de Adiestramiento**). Y por otro, la representación utilizada para cada escenario en cada una de las gráficas del comportamiento de los indicadores.

Escenario	Coordenadas	Línea de las gráficas
Equilibrio	(0.375, 1, 2.25)	---1---
Desidia	(0.75, 1, 2.25)	---2---
Ineptitud	(0.375, 1, 4.5)	---3---
Recelo	(0.375, 2.375, 2.25)	---4---
Utopía	(0.125, 0.5, 1)	---5---
Babel	(0.75, 2.375, 4.5)	---6---

Tabla 2. Notación de los escenarios, donde las coordenadas significan los valores de las variables (*Umbral de Percepción*, *Tasa de Paranoia*, *Tiempo de Adiestramiento*).

En primer lugar mostraremos los comportamientos relacionados con el Sector de la Satisfacción de las personas dado que es el vínculo entre los otros dos. A continuación presentaremos los resultados del Sector de la Madurez organizacional. Dejamos para último lugar las respuestas de los indicadores del Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información, dado que es el más complejo de los tres.

### 9.3.2.1 Sector de la Satisfacción de las personas

En la Figura 169 se muestra el comportamiento de la variable de nivel **Satisfacción** para cada escenario.

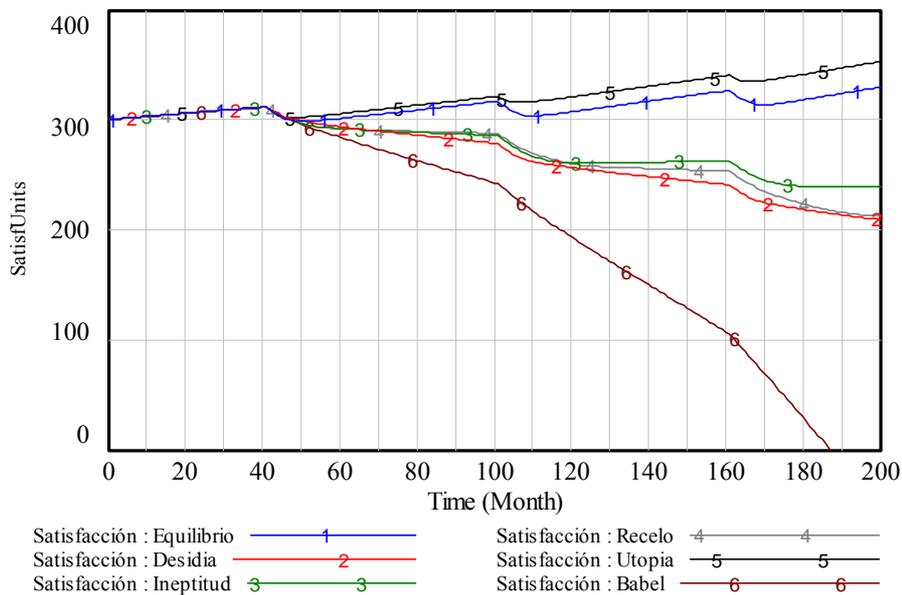


Figura 169. Comportamiento de la Satisfacción en los seis escenarios.

Como cabía esperar, para los escenarios situados en cada eje, “Desidia” [-2-], “Ineptitud” [-3-] y “Recelo” [-4-], el comportamiento empeora de una manera similar. Para el escenario peor, “Babel” [-6-], la **satisfacción** se desploma; mientras que para el escenario “Utopía” [-5-] mejora. Debe tenerse en cuenta que esta mejora es suave porque, según hemos ajustado el modelo en el apartado 9.1.2, el **Peso Motivacional** (Eq. 9-2) es cuatro veces menor que el **Peso Higiénico** (Eq. 9-1).

Esto se puede ver en el comportamiento de las correspondientes variables de flujo **Motivación** (Figura 170) y **Desmotivación** (Figura 171).

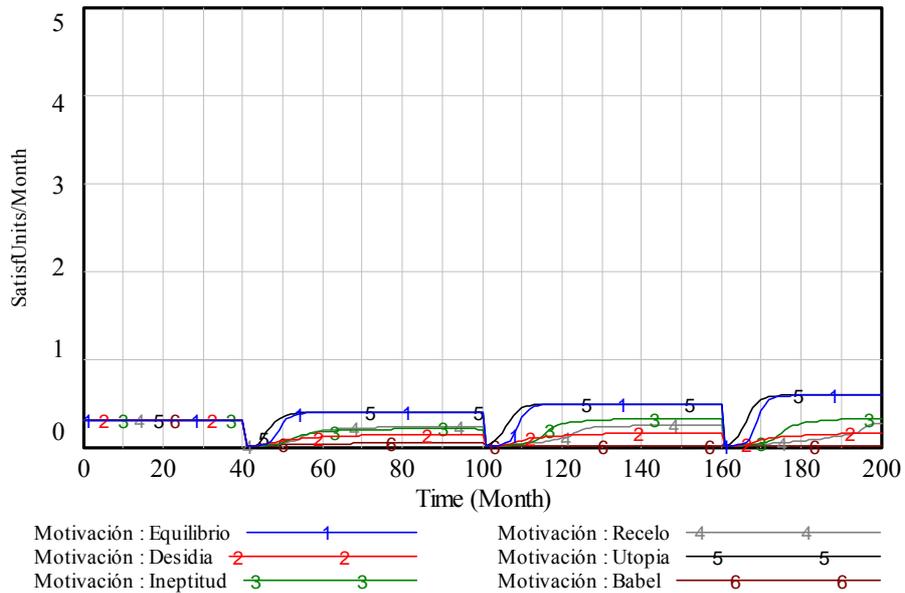


Figura 170. Comportamiento de la Motivación en los seis escenarios.

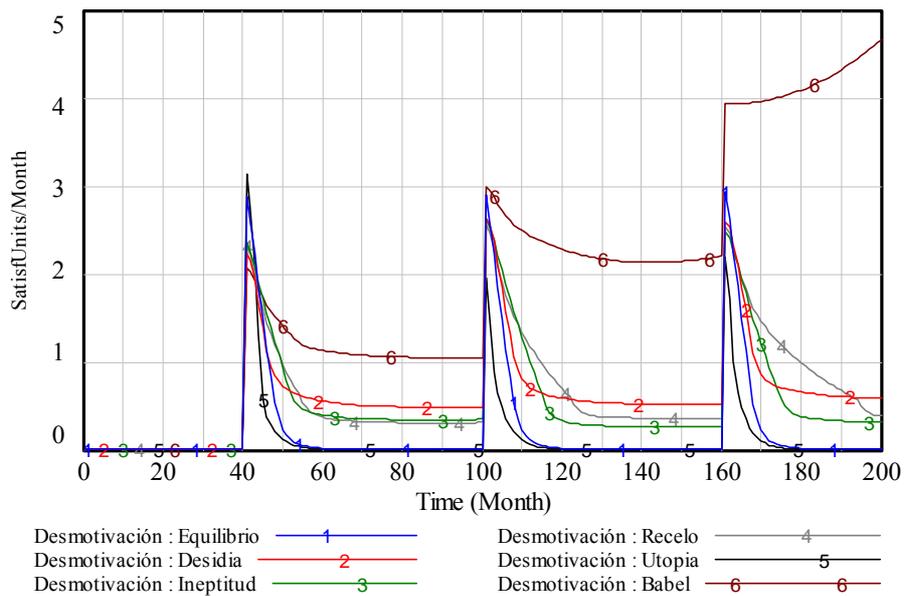


Figura 171. Comportamiento de la Desmotivación en los seis escenarios.

Se aprecia que la variable que más está influyendo sobre la **satisfacción** es el factor higiénico **salto Tecnológico**. Las respuestas para los seis escenarios de la **Desmotivación** (Figura 171) son similares a las del **salto Tecnológico** (Figura 177).

También se puede comprobar la influencia directa de la **satisfacción** sobre la variable auxiliar **Implicación Personas** y la causalidad inversa sobre el

**Mito Tecnológico.** En el caso de **Implicación Personas** la relación es evidente como se aprecia en la Figura 172.

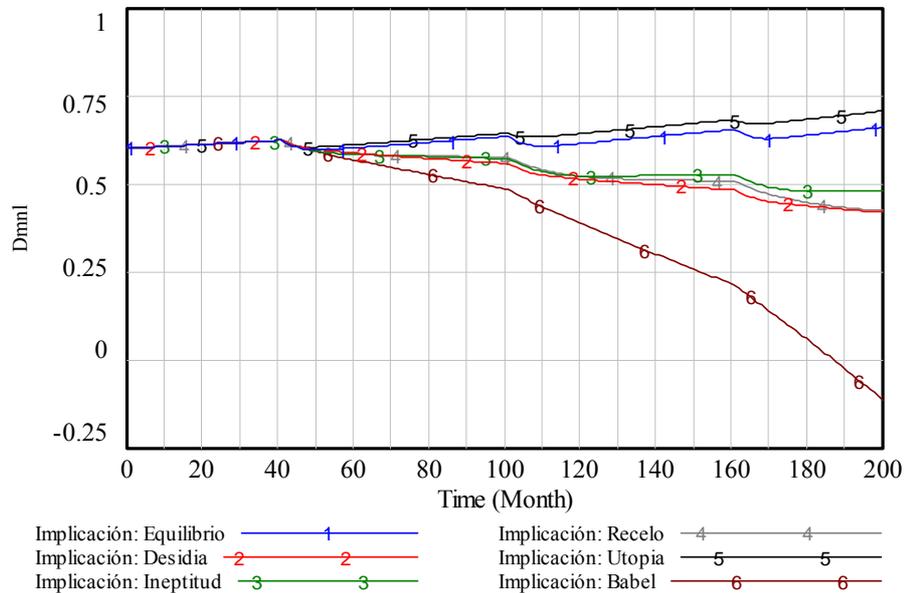


Figura 172. Comportamiento de la Implicación Personas en los seis escenarios.

El **Mito Tecnológico** (Figura 178) depende además de la **Necesidad Percibida de Formación**, de ahí ese comportamiento discontinuo. Pero se ve que para los casos en donde la **satisfacción** es menos favorable, el **Mito Tecnológico** crece. Esto se aprecia sobre todo en el escenario extremo “Babel” [-6-]. El comportamiento del caso del escenario “Recelo” [-4-] es más notorio porque depende de la **Tasa de Paranoia**, que es el parámetro que hemos aumentado en dicho escenario.

### 9.3.2.2 Sector de la Madurez organizacional

La variable de nivel **Madurez** también responde según lo esperado en cada uno de los escenarios, como se puede ver en la Figura 173. La respuesta es menos volátil porque hemos ajustado con minuciosidad el “Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez” (ver apartado 6.1) para adecuarlo a los estudios de Tyre y Orlikowski que se reflejan en el modo de referencia Modo A de la Figura 49, donde se estimaba una “ventana de oportunidad” de 24 meses. La variable de flujo **Variación de Madurez**, que a su vez depende de la variable **Implicación Personas**, define dicha “ventana de oportunidad”, cuyas variaciones en función de cada escenario se ven reflejadas en el comportamiento de la **Sobrecarga de Trabajo** de la Figura 174.

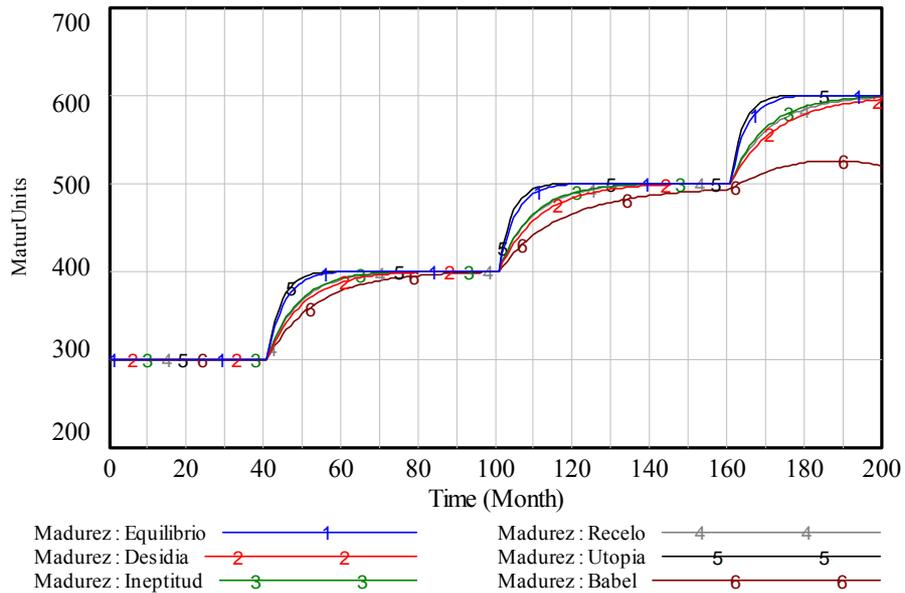


Figura 173. Comportamiento de la Madurez en los seis escenarios.

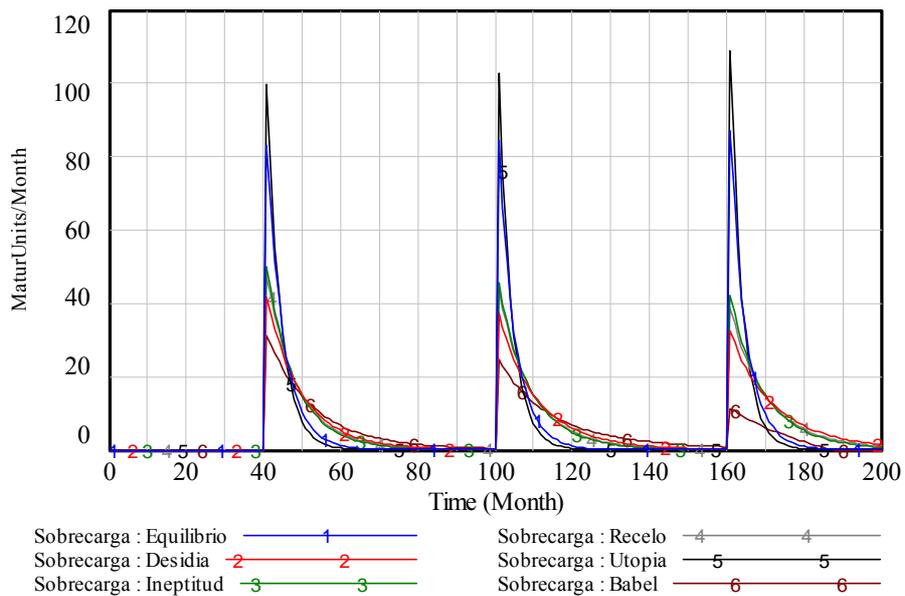


Figura 174. Comportamiento de la Sobrecarga de Trabajo en los seis escenarios.

Los comportamientos de la **sobrecarga de Trabajo** en los distintos escenarios nos confirman que para los casos más favorables la “ventana de oportunidad” ronda los 24 meses. Para los escenarios de las tres coordenadas el periodo de incremento de la **Madurez** se alarga a la vez que su amplitud se suaviza, es decir, las personas trabajan con menos intensidad pero durante más tiempo. Y para el caso peor, dado que la **Implicación Personas** tiende al

colapso, la **sobrecarga de Trabajo** se anula<sup>63</sup> por desvinculación con el trabajo como consecuencia del síndrome del *burnout* (ver apartado 6.2.2).

### 9.3.2.3 Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información

Este sector es el más complejo de los tres, de hecho los tres parámetros que determinan cada escenario, **Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**, pertenecen a este sector. Este es el sector donde se surge la dialéctica entre el plano de la teoría expuesta y el plano de la teoría en uso y por ello conviene estudiarlo con más cuidado para apuntalar la confianza en el modelo. Como vamos a ver, va a surgir un abanico de comportamientos que discriminarán cada escenario.

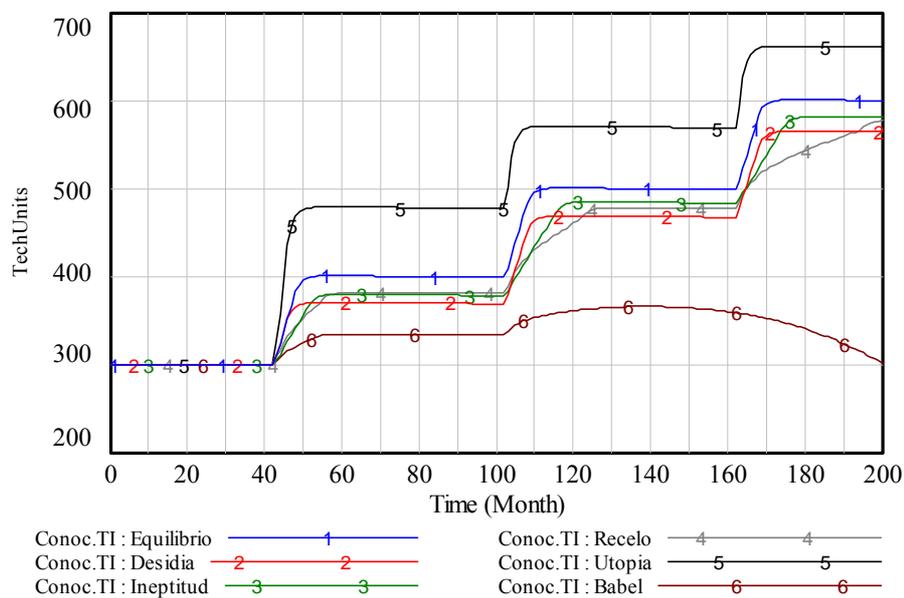


Figura 175. Comportamiento del Conocimiento TI en los seis escenarios.

En la Figura 175 vemos el comportamiento del **Conocimiento TI** en cada escenario. La respuesta en el escenario “Equilibrio” [-1-] nos sirve como referencia del **Nivel TI Deseado** como hemos comprobado al validar el modo de referencia Modo D (ver Figura 139). En los dos escenarios “Desidia” [-2-] e “Ineptitud” [-3-], como era de esperar no se llega a alcanzar el **Nivel TI Deseado**, produciéndose un **Salto Tecnológico** latente (ver Figura 177).

<sup>63</sup> La variable de flujo **Variación de Madurez** -que depende directamente de la variable auxiliar **Implicación Personas**- toma valores negativos y por eso disminuye la **Madurez** en el escenario “Babel”. Sin embargo, como hemos considerado en el apartado 6.3.1, no tiene sentido que la **Sobrecarga de Trabajo** sea negativa ya que significaría que las personas en lugar de rendirse tenderían al entusiasmo.

En el escenario “Recelo” [-4-] la respuesta se va deteriorando. Esto se debe a que hemos decidido que la **Tasa de Paranoia** tenga un valor un poco superior que el doble ( $2.375 \text{ 1/SatisfUnits}$ ), pero también a que el **Mito Tecnológico** (ver Figura 178) es mayor, lo que influye negativamente en el **Aprendizaje** (Figura 176).

En el escenario “Babel” [-6-], como ocurre en las variables nucleares de los otros dos sectores, el **Conocimiento TI** se desploma, llegando a una situación de **Aprendizaje** negativo (Figura 176), es decir, de una presunta pérdida de la capacitación tecnológica adquirida. Esto es debido a la combinación de distintos factores. Por un lado, la miopía organizacional junto con la elevada desconfianza de las personas hace que el **Mito Tecnológico** aumente (ver Figura 178). La intensificación del **Mito Tecnológico** hace que a la **Crítica** desaparezca (ver Figura 179) que junto a la falta de capacidad para el estudio de las personas provoca que el **Aprendizaje** tenga ese efecto perverso.

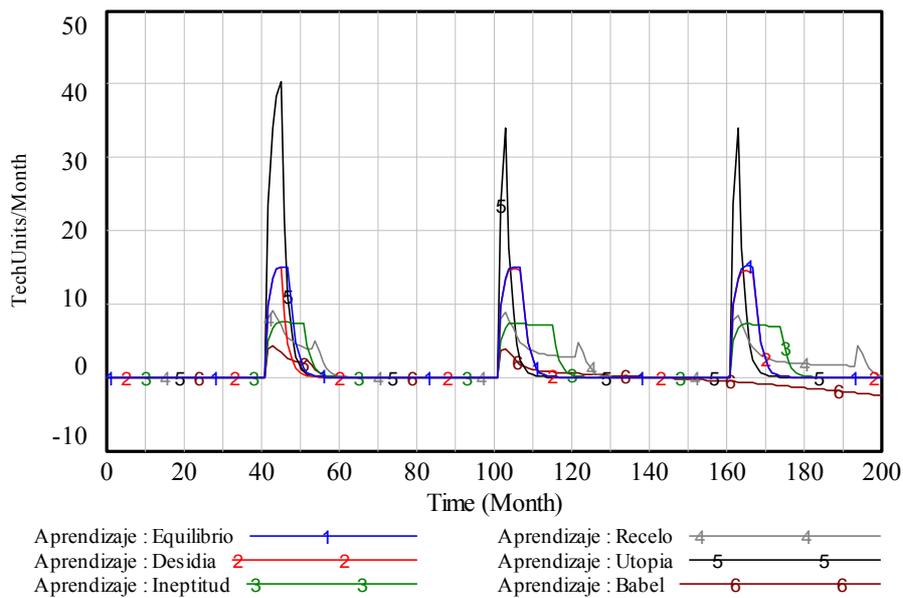


Figura 176. Comportamiento del Aprendizaje en los seis escenarios.

En la Figura 177 comprobamos que para los escenarios situados en cada coordenada, “Desidia” [-2-], “Ineptitud” [-3-] y “Recelo” [-4-], se genera un **salto Tecnológico** latente. Sin embargo en el escenario “Utopía” [-5-] prácticamente desaparece.

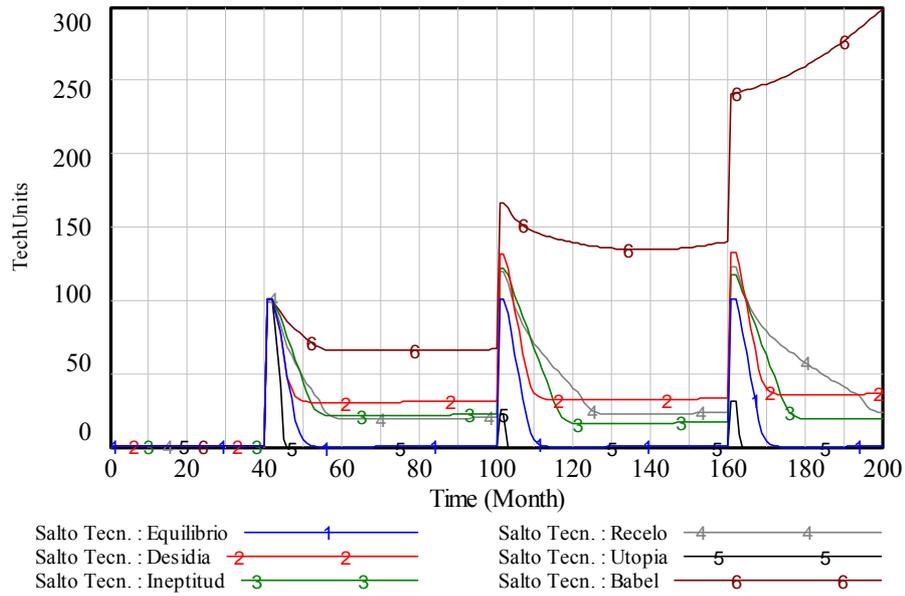


Figura 177. Comportamiento del Salto Tecnológico en los seis escenarios.

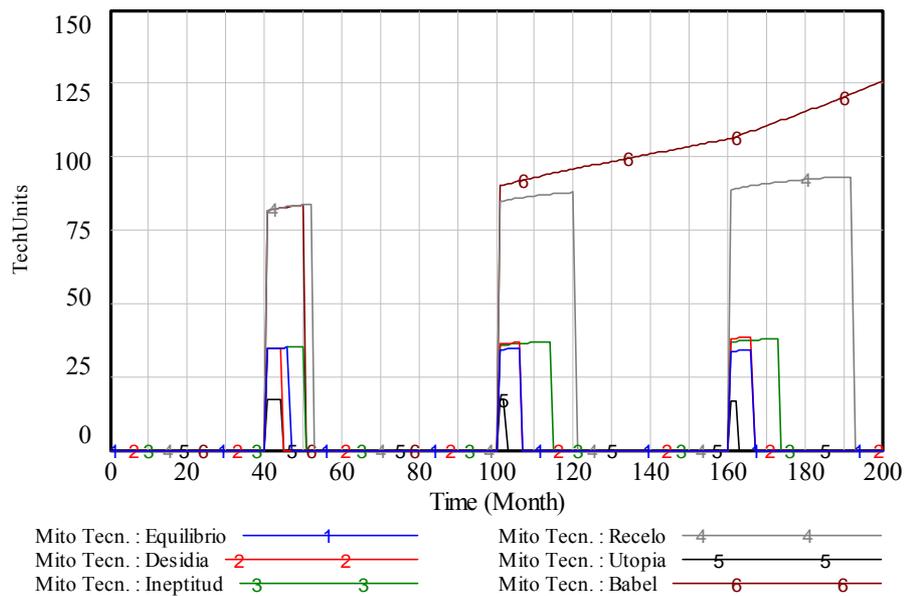


Figura 178. Comportamiento del Mito Tecnológico en los seis escenarios.

Esto ocurre porque hay un exceso de **Aprendizaje** (Figura 176) dado que el **Mito Tecnológico** (Figura 178) es reducido debido a que la **Necesidad Percibida de Formación** (Figura 180) se activa durante un periodo relativamente corto y se combina con una mayor confianza de las personas. La poca importancia del **Mito Tecnológico** no genera una caída sensible de la **Crítica** (Figura 179), por lo que el **Aprendizaje** (Figura 176) no se ve condicionado. Si a esto añadimos que existe un retardo propio de la gestión

(en este caso de su finalización) de los procesos de capacitación, **Tiempo de Preparación de la Formación**, que combinado con personas más espabiladas, hace que se supere el del **Nivel TI Deseado**.

Tanto el **Mito Tecnológico** (Figura 178) como la **Crítica** (Figura 179) muestran unos comportamientos acordes al **salto Tecnológico** de la Figura 177 por lo que su justificación es similar a la del párrafo anterior.

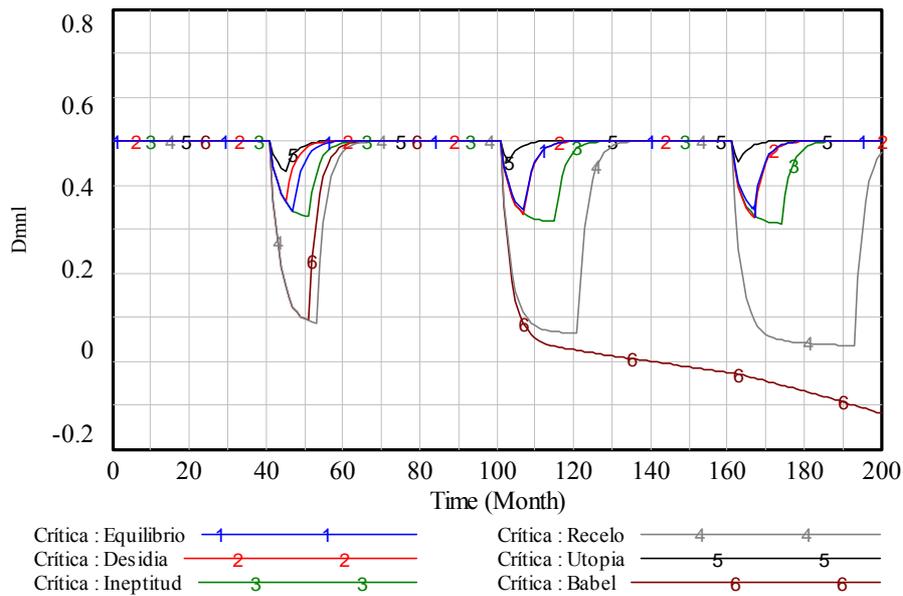


Figura 179. Comportamiento de la Crítica en los seis escenarios.

Los comportamientos de la **Necesidad Percibida de Formación** (Figura 180) como de la **Formación** (Figura 181) son equivalentes. De hecho hemos considerado que entre la activación de la **Necesidad Percibida de Formación** y el desarrollo de la **Formación** se produce un retardo que hemos denominado **Tiempo de Preparación de la Formación**.

La **Necesidad Percibida de Formación** está activa cuando la organización, en el plano de la teoría expuesta, detecta que el **salto Tecnológico** ha alcanzado cierto nivel, el **Umbral de Percepción**. En los escenarios “Equilibrio” [-1-], “Ineptitud” [-3-] y “Recelo” [-4-] el **Umbral de Percepción** toma el valor  $0.375 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ , en los escenarios “Desidia” [-2-] y “Babel” [-6-] se duplica a  $0.75 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ , y en el escenario “Utopía” [-5-] se reduce a  $0.125 \text{ TechUnits/MaturUnits}$ . Estos valores influyen en la duración de la **Necesidad Percibida de Formación** porque la amplitud siempre es la misma que la **Acción del Impulso Externo**, en nuestro caso  $100 \text{ MaturUnits}$ .

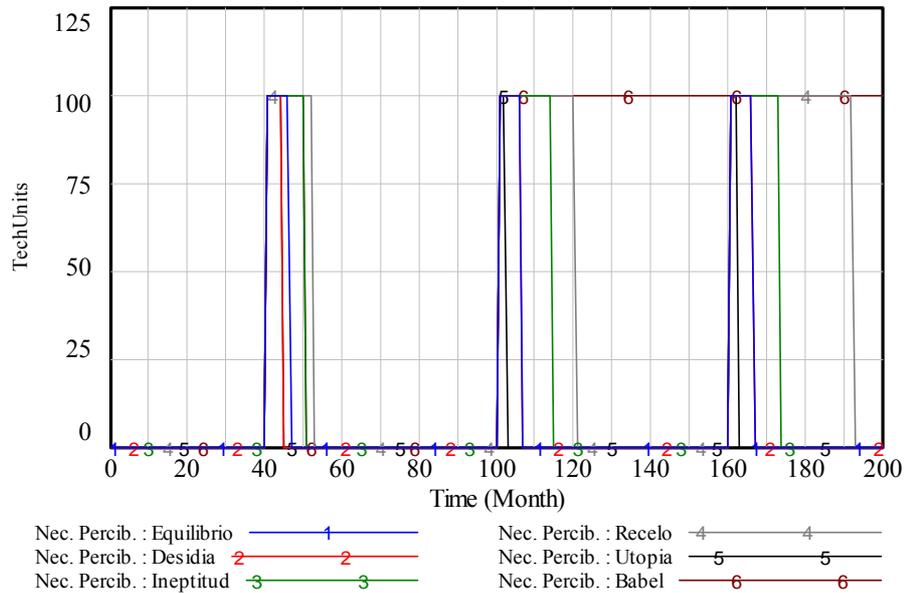


Figura 180. Comportamiento de la Necesidad Percibida de Formación en los seis escenarios.

La gráfica de la Figura 180 es más confusa, sobre todo en el primer grupo de pulsos. En dicho grupo de pulsos se solapan la respuesta de los escenarios “Desidia” [-2-] y “Utopía” [-5-] porque coincide que en el escenario “Desidia” [-2-], el **salto Tecnológico** alcanza el 75% de su valor a la vez que en el escenario “Utopía” [-5-] alcanza el 12,5% porque la caída es mucho más rápida en este. Algo similar ocurre con “Ineptitud” [-3-] y “Babel” [-6-].

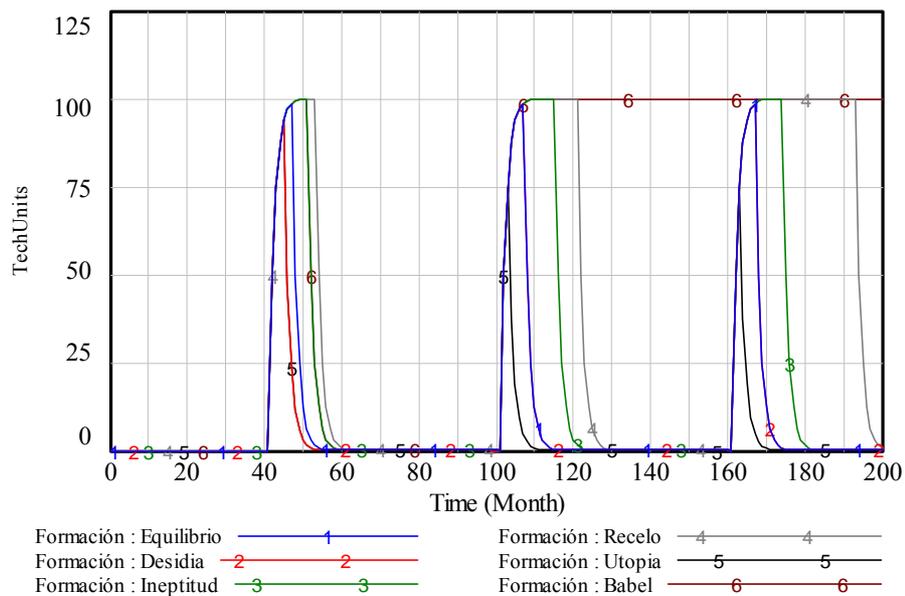


Figura 181. Comportamiento de la Formación en los seis escenarios.

Las respuestas de la **Formación** (Figura 181) son semejantes a las correspondientes de la **Necesidad Percibida de Formación** (Figura 180) pero con el suavizado propio de haber considerado un retardo, el **Tiempo de Preparación de la Formación** que es igual a todos los escenarios.

Pero tal vez sea la Figura 176, que muestra el comportamiento de la variable de flujo **Aprendizaje** en los distintos escenarios, la que más información nos pueda aportar para comprender mejor el modelo ya que interactúan prácticamente todos las variables y parámetros del sector. Y entre todos ellos el escenario que muestra un comportamiento más interesante, o chocante, es el “Recelo” [-4-]. Por ello, a continuación dedicamos a este caso un inciso específico.

### **El Aprendizaje en el escenario “Recelo”**

Como hemos indicado en el apartado 2.2.4.2, la simulación del modelo podía generar comportamientos no previstos y dar una explicación coherente a dichos casos afianza la confianza en el modelo. Por este motivo vamos a estudiar el caso del escenario “Recelo” [-4-] donde se aprecia un pequeño repunte en el **Aprendizaje** que debe tener una explicación coherente.

Vamos a analizar el comportamiento en el periodo correspondiente al segundo **Impulso Externo**, para ello acotamos la representación gráfica al horizonte temporal [90, 130]. Y de cara a que las gráficas se puedan ver con más claridad utilizamos los acrónimos *TU* y *TU/M* para representar las unidades *TechUnits* y *TechUnits/Month*, respectivamente.

Recordemos que los valores que definen el escenario “Recelo” son:

$$\text{Umbral de Percepción} = 0.375 \text{ (TechUnits/MaturUnits)}$$

$$\text{Tasa de Paranoia} = 2.375(1/\text{SatisfUnits})$$

$$\text{Tiempo de Adiestramiento} = 2.25(\text{Month})$$

En la Figura 182 mostramos los indicadores que caracterizan este escenario. Vemos cómo el **Conocimiento TI** se aproxima asintóticamente al **Nivel TI Deseado**, aunque nunca llegará a alcanzarlo, quedando un **salto Tecnológico** subyacente. El crecimiento del **Conocimiento TI** se estabiliza cuando se desactiva la variable de flujo **Aprendizaje**.

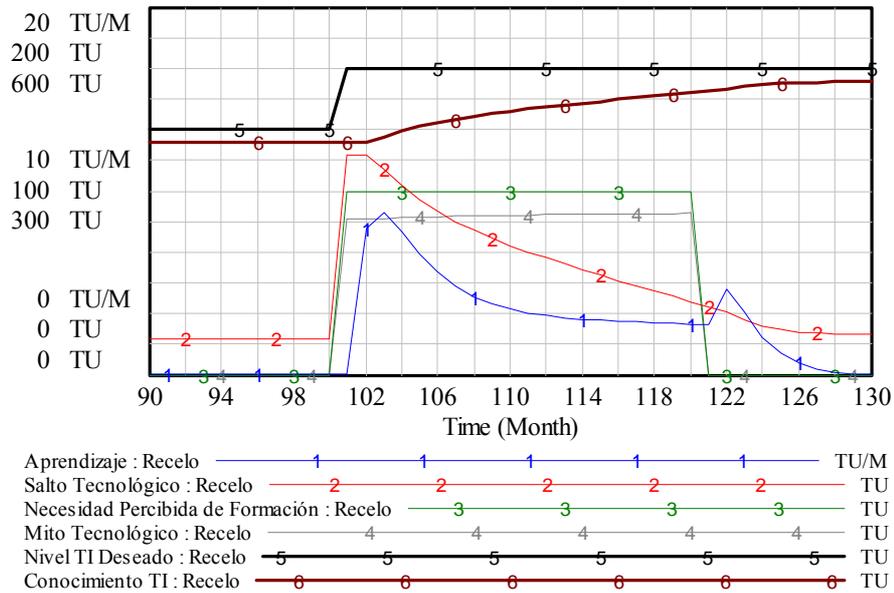


Figura 182. Respuesta general del escenario “Recelo” en el intervalo [90, 130].

Para estudiar con más detalle el escenario, en la Figura 183 seleccionamos el comportamiento de las variables **Necesidad Percibida de Formación**, **Mito Tecnológico**, **Aprendizaje** y **Salto Tecnológico**, e incluimos el comportamiento de la **Formación**.

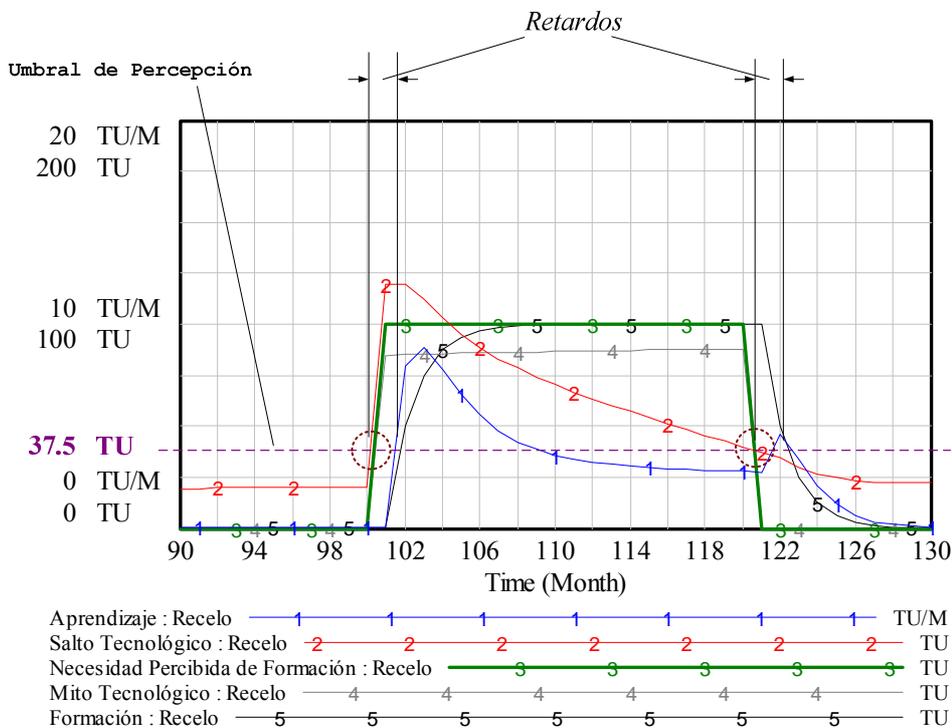


Figura 183. Umbral de Percepción en el escenario “Recelo” en el intervalo [90, 130].

En primer lugar debemos observar la existencia de dos retardos. Ambos retardos son el resultado de la interacción de diferentes coeficientes que, además de los referidos retardos **Tiempo de Adiestramiento** y **Tiempo de Preparación de la Formación**, se debe incluir el retardo **Tiempo de Reacción**, todos ellos regulados, no sólo por la **Tasa de Paranoia**, sino por la **Tasa de Crítica** y la **Tasa de Aprendizaje**. Esto quiere decir que, por un lado, los retardos no tienen por qué ser iguales, si bien en este caso son similares. Por otro, ninguno de los dos retardos de la Figura 183 se puede achacar en exclusiva a un parámetro concreto, sino que es una combinación de los efectos de varios de ellos. En cualquier caso, nos centraremos en el segundo de los retardos que es el que está asociado al pico del **Aprendizaje**.

Igualmente debemos tener claro que la relación entre el **Mito Tecnológico** y el **Aprendizaje** es inversa y que está mediada por la variable **Crítica**. Como hemos detallado en el apartado 8.2.2, un aumento del **Mito Tecnológico** reduce la capacidad de **Crítica**, lo que hace que descienda el **Aprendizaje**. Esto lo podemos comprobar en la Figura 184 en la cual hemos incluido estas tres variables junto con la **Formación** y donde hemos adaptado la escala para apreciarlo con mayor detalle.

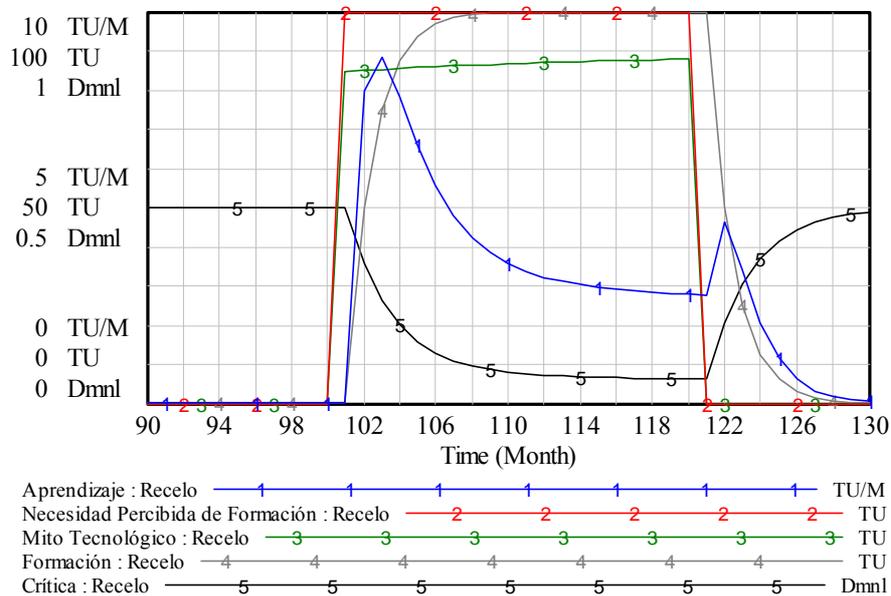


Figura 184. Detalle del escenario "Recelo" en el intervalo [90, 130].

También conviene que observemos que del **Mito Tecnológico** aumenta paulatinamente, como era de esperar según el modo de referencia Modo F (Figura 88). Recordemos que esto se debe a que cuando aumenta un factor higiénico como el **salto Tecnológico**, la **satisfacción** disminuye y, en consecuencia, las personas son más susceptibles a crear rutinas

organizacionales defensivas. Por lo tanto, durante el periodo en que está activada la variable **Necesidad Percibida de Formación**, según decrece la **Satisfacción**, el **Mito Tecnológico** aumenta.

Volviendo a la Figura 183 vemos que con la línea a trazos definimos el nivel a partir del cual la organización percibe la necesidad de formación. Dicho nivel se define en la ecuación *Eq. 8-8* y es el producto de la **Acción** (100 *MaturUnits*) por el **Umbral de Percepción** (0.375 *TechUnits/MaturUnits*). Esto significa que la variable **Necesidad Percibida de Formación** se activa, o desactiva, cuando el **Salto Tecnológico** toma el valor 37.5 *TechUnits*, esto es en el intervalo [101, 120].

En este intervalo [101, 120] si analizamos la Figura 184 vemos que, a la sombra de la variable **Necesidad Percibida de Formación**, el **Mito Tecnológico** se activa (alcanzando valores mayores que en otros escenarios debido al valor de la **Tasa de Paranoia**) y crece suavemente por lo que la **Crítica** disminuye.

Antes de estudiar el intervalo del segundo retardo de dos meses [121, 122] donde se alcanza el pico en 122 *Month*, veamos por qué se produce un pico de **Aprendizaje** al principio del intervalo [101, 120]. Por un lado se inicia la **Formación** como consecuencia de la activación de la variable **Necesidad Percibida de Formación**, como indica el bucle 4 “Reducción del Salto Tecnológico por Formación” (ver 8.2.1), pero con cierto retardo (debido principalmente al **Tiempo de Preparación de la Formación**). Pero paralelamente también se activa el bucle 5 “Elogio de la tecnología” (ver 8.2.2), con otro retardo acumulado (**Tiempo de Reacción**). Este bucle 5 también se acciona con la variable **Necesidad Percibida de Formación**, la cual activa el **Mito Tecnológico** que estimula el efecto negativo de la caída de la **Crítica**. Dicho de otro modo, según aumenta la **Formación** (suavizada por el retardo) aumenta el **Aprendizaje**, pero paralelamente entra en acción el efecto negativo del **Mito Tecnológico** que desactiva la **Crítica** (también atenuada con otro retardado) y el **Aprendizaje** cae con una forma similar a la propia **Crítica** hasta llegar al final del intervalo [101, 120].

Con la Figura 184 podemos centrarnos en el intervalo objeto de estudio [121, 122]. Una vez que la organización deja de percibir en el plano de la teoría expuesta una necesidad de formación dado que ya no se supera el **Umbral de Percepción**, esta deja de promover una actitud positiva hacia las tecnologías informáticas porque entiende que se han cumplidos los objetivos de capacitación y se detiene la **Formación**.

El proceso de finalización de las actividades de **Formación** conlleva el mismo retardo que su inicialización, el **Tiempo de Preparación de la Formación** (ver 8.2.2). De ahí que desde que desaparece paulatinamente con el suavizado debido al retardo. Asimismo, el **Mito Tecnológico** desaparece con la variable **Necesidad Percibida de Formación**, ya que la organización ha dejado de fomentarlo. Esto nos genera una ventana temporal donde las personas reciben **Formación** pero sin la presión del elogio de la tecnología, es decir, recuperando la capacidad de **Crítica**. Por lo tanto, durante dicho intervalo [121, 122] el **Aprendizaje** vuelve a crecer hasta que acaba la **Formación**, generándose el repunte del instante 122.

#### **9.4 Conclusión**

En este capítulo hemos integrado y ajustado en función de los modos de referencia, los tres sectores correspondientes capítulos 6, 7 y 8 (Sector de la Madurez organizacional, Sector de la Satisfacción de las personas y Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información) en un único modelo que se detalla en el Anexo 2.

Asimismo, hemos validado el modelo realizando los correspondientes análisis de sensibilidad, del cual hemos detectado tres puntos clave de intervención (**Umbral de Percepción**, **Tasa de Paranoia** y **Tiempo de Adiestramiento**) que constituyen un espacio para la definición de un conjunto de escenarios que nos ha permitido realizar el correspondiente estudio para aumentar la confianza en el modelo (ver Figura 167).

Hemos seleccionado seis escenarios. Un escenario base, “Equilibrio”, que se corresponde con el presentado en el Anexo 2 y que es la referencia para los demás escenarios. Tres contextos desfavorables que los hemos llamado “Desidia”, “Ineptitud” y “Recelo” según empeore cada uno de los parámetros que definen cada eje de las coordenadas espaciales **Umbral de Percepción**, **Tiempo de Adiestramiento** y **Tasa de Paranoia**. Y dos escenarios en condiciones extremas: uno optimista, “Utopía”, y otro pesimista, “Babel”. El modelo responde en cada escenario como era de esperar por lo que se aumenta la confianza en el modelo.

Además, han surgido comportamientos no esperados como el caso estudiado del **Aprendizaje** en el escenario “Recelo”. Dado que la explicación de dicho resultado es coherente con el modelo, se reafirma la confianza en el mismo.



## 10 Conclusiones

*“Hegoak ebaki banizkion neria izango zen, ez zuen alde egingo. Baina honela ez zen gehiago txoria izango eta nik txoria nuen maite<sup>64</sup>”.*

*-Mikel Laboa-*

*“Ainsi, si vous leur dites: ‘La preuve que le petit prince a existé c'est qu'il était ravissant, qu'il riait, et qu'il voulait un mouton. Quand on veut un mouton, c'est la preuve qu'on existe’ elles hausseront les épaules et vous traiteront d'enfant! Mais si vous leur dites: ‘La planète d'où il venait est l'astéroïde B 612’ alors elles seront convaincues, et elles vous laisseront tranquille avec leurs questions. Elles sont comme ça. Il ne faut pas leur en vouloir. Les enfants doivent être très indulgents envers les grandes personnes<sup>65</sup>”.*

*-“Le Petit Prince”, Antoine de Saint-Exupéry-*

---

<sup>64</sup> Si le cortara las alas, sería mío, no se escaparía. Pero de esta manera ya no sería un pájaro y lo que yo quería era un pájaro.

<sup>65</sup> Así pues, si les decís: ‘La prueba de que el principito ha existido es que era encantador, que reía, y que quería un cordero. Querer un cordero es la prueba de que uno existe’, se encogerán de hombros y os tratarán como a niños. Pero si les decís: ‘El planeta de donde él venía es el asteroide B 612’, entonces se convencerán y os dejarán tranquilos con sus preguntas. Son así. No hay que culparles. Los niños deben ser muy indulgentes con los adultos.

### 10.1 Síntesis del trabajo

El modelo que presentamos se basa en la idea de que una mejor comprensión del proceso de implantación de un sistema informático para la gestión estratégica de alto impacto organizacional permitirá diseñar intervenciones organizacionales eficaces que ayudarán a aumentar la aceptación de los usuarios y, por ende, el éxito de la implementación.

El modelo ayuda a entender cómo la dinámica organizacional limita la eficiencia de la adopción de una innovación. Como señala McAfee (ver apartado 3.2.1), la inercia es característica de implementaciones complejas que implican numerosos procesos nuevos o múltiples componentes y esta complejidad puede crear incertidumbre y desconfianza que, a su vez, pueden provocar que las organizaciones avancen más lentamente [MCAF03]. Y como indica Repenning, esto puede provocar una lógica encerrada sobre sí misma que confirma la lógica de las malas decisiones [REPE02], es decir, los líderes a veces no consideran o subestiman el retraso necesario para implementar con éxito un sistema informático de alto impacto y no tienen en cuenta en su justa medida la presión realizada, por muy bien intencionada que sea.

Esto se recoge en el modelo con la dialéctica entre el plano de la teoría expuesta que idealiza la tecnología y fomenta el aprendizaje para conseguir ser una *learning organization* y el plano de la teoría en uso donde surgen las barreras defensivas que impiden el aprendizaje al eludir las discusiones y la crítica por miedo a parecer ignorante. Una distancia excesiva entre ambos planos, representada con la variable **Umbral de Percepción**, provoca que la miopía de la organización y la adopción de medidas inadecuadas que agraven el problema o que fueren el abandono precipitado del proyecto. Convirtiéndose en una profecía autocumplida que coincide con el efecto Pigmalión que se produce en el modelo de McGregor (ver apartado 7.1.1), aunque no se haya recogido explícitamente como tal en el modelo.

Dicha dialéctica entre la proactividad de la organización y la actitud del individuo es una de las bases del modelo presentado en esta tesis. La cuestión es que las percepciones del proceso son diferentes y para entenderlo son claves las aportaciones sobre la dicotomía entre la teoría en uso y la teoría expuesta formulada por Argyris y Schön [ARGY96] que acabamos de aludir.

Concurrentemente, el modelo reproduce el hecho de que durante la introducción inicial de tecnología se genera una “ventana de oportunidad” para la adaptación y la experimentación. Ello confirma el comportamiento previsto por Tyre y Orlikowski [TYRE94], es decir, el proceso de adaptación tecnológica es discontinuo. Sin embargo, este periodo supone una sobrecarga

de trabajo y que, como se señala en el estudio realizado en el capítulo 3 (ver apartado 3.1), la fatiga influye negativamente en la motivación haciendo que las personas puedan resistirse al cambio simplemente por el mero hecho de estar cansadas. Por lo que los responsables de la introducción del nuevo sistema informático de gestión deben ser conscientes de que cuando se está realizando un esfuerzo de cambio, la sobrecarga de trabajo puede ser un factor que impida a las personas avanzar, aunque crean en el beneficio de la idea.

Por otro lado, el modelo busca entender la perspectiva del adoptador y por ello también se enfoca hacia los miembros de una organización, hacia cómo perciben el proceso de introducción de sistemas de información de alto impacto organizacional, como es un sistema de gestión estratégica. Esto confirma que el fracaso en la puesta en marcha de sistemas informáticos para la gestión no puede atribuirse a la falta de esfuerzo de implementación de las organizaciones y que para ser eficaces, requiere que los miembros de la organización cambien su comportamiento de manera significativa [REPE02].

Para ello, el modelo encierra el concepto de que la adopción de innovaciones comporta la modificación de la conducta humana y la aceptación de un cambio; pero como hemos señalado en el apartado 7.1.1, los procesos de motivación son complejos. El modelo responde satisfactoriamente a los comportamientos previstos considerando una relación no lineal entre la motivación y el desempeño, a través de la satisfacción, a diferencia de los dos modelos de adopción de sistemas informáticos que incluyen la satisfacción como variable, el Modelo de Aceptación de la Tecnología y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean estudiados en el capítulo 4, que consideran un comportamiento lineal y simplista: “a mayor motivación, mayor rendimiento”. En nuestro caso hemos elegido el modelo de motivación no lineal más generalista, la Teoría de los Factores de Frederick Herzberg. El modelo contiene un factor motivacional, la variable **Madurez**, y dos factores higiénicos o desmotivadores, las variables **Sobrecarga de Trabajo** y **Salto Tecnológico**. Es decir, que según Herzberg, para que la **Madurez** pueda ejercer su función motivadora, tienen que estar atenuados tanto la **Sobrecarga de Trabajo** como el **Salto Tecnológico**.

Igualmente, el modelo recoge un factor recurrente en los distintos modelos que vinculan la aceptación tecnológica con el individuo que es la actitud hacia a una tecnología particular, la cual se basa en creencias y sensaciones percibidas sobre la adopción. Y estas actitudes pueden ser influidas por estímulos externos como reconoce el Modelo de Aceptación de Tecnología (ver apartado 4.7) o el Marco Conceptual de Frambach y Schillewaert (ver apartado 4.5), que a su vez se basan en la Teoría de la Acción Razonada<sup>39</sup> y en la Teoría del Comportamiento Planificado<sup>40</sup>. Además, Rizzuto detecta que una de las

principales causas de las barreras más frecuentemente referida es la falta de participación, y también sugiere que se tengan en consideración las actitudes, las creencias y las expectativas, para conformar el clima y la cultura de la organización que facilite la adopción tecnológica (ver apartado 3.2.4).

En este sentido, el modelo reafirma la sugerencia de Rizzuto de que el método para resolver las barreras a la implementación es preparar correctamente a la organización para la intervención tecnológica. La autora reseña que la preparación organizacional viene siendo regularmente reseñada con mayor frecuencia en las últimas décadas, con una horquilla que ha oscilado entre un 59% y un 88% de las referencias estudiadas (ver apartado 3.2.4).

El modelo recoge otro elemento clave como es la formación. Rizzuto tras la revisión de la literatura sobre el fracaso de la implementación de tecnologías de la información debido a las personas (ver capítulo 3), detecta que la formación, que inicialmente no aparecía en la literatura, ha pasado a ser una de las causas de las barreras más frecuentes (50-59%). A su vez, Sokol considera que la formación es un factor clave para facilitar la adaptación de la tecnología (ver apartado 3.2.2) y señala que la actitud hacia el nuevo sistema y la eficacia de su uso dependen de la calidad de dicha formación. Esto, en principio, justifica intervenciones de comunicación interna y de promoción de la formación como las mencionadas en el apartado 1.1 de antecedentes.

Sin embargo, como hemos indicado al comienzo del capítulo 8, el modelo necesita alguna relación que explicara por qué la formación no era suficiente para superar el salto tecnológico. Esto lo hemos conseguido incorporando tanto el concepto de rutinas organizacionales defensivas de Argyris como la referida dicotomía de Argyris y Schön entre la teoría en uso y la teoría expuesta. Con estos dos conceptos se explica la paradoja de que cuanto más se fomenta el aprendizaje, más sólidas son las barreras al aprendizaje.

Esto se recoge en el bucle 5 del modelo, identificado como “Elogio de la tecnología” (ver apartado 8.2.2). En el plano de la teoría expuesta la organización, con la intención de tender hacia una *learning organization*, fomenta una actitud positiva hacia las tecnologías de la información. Los líderes justifican las presumibles actitudes defensivas hacia las tecnologías de la información como consecuencia única de una carencia de conocimientos informáticos (**Necesidad Percibida de Formación**) e impulsan la formación.

Por el contrario, en el plano de la teoría en uso se crea una rutina organizacional defensiva en la que la tecnología es incuestionable ya que

juega un papel clave para alcanzar esa *learning organization*, simbolizado con la variable **Mito Tecnológico**. Este idealismo tecnológico crea un escenario en el cual las dudas se perciben como ignorancia e incompetencia. Esto condiciona al individuo para estar de acuerdo con la directriz sugerida y se evitan discusiones y reflexiones críticas por miedo a parecer ignorante lo que, en definitiva, limita la capacidad de aprendizaje. Esto cierra un círculo vicioso (es un bucle de realimentación positiva) porque desde el plano de la teoría expuesta, no cabe otra explicación a las actitudes defensivas que ese analfabetismo informático ya previsto.

Del análisis de sensibilidad del modelo integrado (ver apartado 9.2.2.2) se desprenden tres parámetros que pueden actuar como reguladores o puntos clave de intervención del modelo: el **Umbral de Percepción**, la **Tasa de Paranoia** y el **Tiempo de Adiestramiento**. Este último, el **Tiempo de Adiestramiento** es inherente a las personas; pero los otros dos, tanto el **Umbral de Percepción** como la **Tasa de Paranoia**, son los elementos a considerar para controlar la dialéctica de los dos planos.

El **Umbral de Percepción** nos indica el conocimiento que la organización posee de la realidad del proceso de aprendizaje de las personas. Lo que significa que el impulso de las actividades de formación depende de cómo los responsables perciben las necesidades de formación y no del salto tecnológico real. Es un indicador de la distancia existente entre el plano de la teoría expuesta y el plano de la teoría en uso, de forma que valores bajos de este parámetro señalan una observación más cercana mientras que valores altos indican cierto grado de miopía por parte de los líderes. Esto coincide con Ciborra cuando advierte que no se debe dar por sentado que una tecnología recién introducida es algo controlado y que conviene mantener cierta atención al proceso de adopción [CIBO96, CIBO97].

La **Tasa de Paranoia** representa la susceptibilidad de las personas ante el fomento del idealismo tecnológico. Además del **Mito Tecnológico** depende también de la **satisfacción**. Así, personas con una autoestima mayor tendrán una **Tasa de Paranoia** más baja, es decir, será más fácil que tenga confianza para opinar. Por el contrario, valores elevados son propios de personas con una baja autoestima, más susceptibles a sentirse rechazadas por ser ignorantes y, en suma, más proclives a crear rutinas organizacionales defensivas.

En consecuencia, el modelo que presentamos nos indica que de cara a la implementación de sistemas informáticos de alto impacto organizacional, se debe regular tanto el recelo de las personas de la organización como la miopía del proceso de adopción. Esto coincide con Sokol que, cuando clasifica las

causas de las barreras a la implementación, señala a la participación como uno de los puntos débiles en las organizaciones para crear actitudes positivas sobre la tecnología y un clima propicio para la adopción (ver apartado 3.2.2). Paralelamente, Amoako-Gyampah y Salam cuando proponen una mejora Modelo de Aceptación de la Tecnología para implementaciones de sistemas de tipo ERP (ver apartado 4.7.3), concluyen que los responsables de una organización deben tomar iniciativas de comunicación efectivas, junto con una formación eficaz sobre el sistema informático, para influir sobre la creencia compartida en los beneficios del sistema, lo que conducirá a un aumento en la aceptación de la tecnología.

En resumen, el modelo que presentamos en esta tesis proporciona una herramienta para los responsables de una organización compleja como es una universidad, que les puede ayudar a entender las pautas de la aceptación de sistemas informáticos de alto impacto organizacional como son los sistemas de gestión estratégica, y que facilite la estimación del éxito de dicha implantación introducción con el fin de diseñar intervenciones proactivas dirigidas a usuarios que pueden ser menos proclives a adoptar y usar los nuevos sistemas. En cualquier caso conviene ser cautos con el modelo y debe entenderse como un sistema de ayuda a la reflexión y toma de decisiones, porque estamos ante un sistema complejo en el que los miembros de una organización deben adquirir nuevo conocimiento a veces complicado, debe aprender a superar las resistencias al cambio organizacional que conlleva la implementación de la misma y, al mismo tiempo, desaprenderse lo que ya saben (y que seguramente les proporciona seguridad).

## **10.2 Contribuciones**

En esta tesis hemos seguido un planteamiento diferente del existente en la literatura. No proporcionamos datos nuevos, ni demostramos la existencia de nuevas variables, ni comprobamos la fortaleza de una relación entre dos variables. En lugar de ello, la principal contribución de este trabajo es la obtención de nuevo conocimiento a partir de las variables y las relaciones existentes, pero que hasta el momento no habían sido combinadas.

Esta tesis aporta valor desde el punto de vista metodológico que difiere del enfoque clásico de la Dinámica de Sistemas. Nos centramos en la identificación del problema, en la construcción y en validación del modelo de simulación sobre la base de las variables y relaciones existentes en la literatura, con objeto de construir un corpus teórico coherente novedoso que sirva como base el aprendizaje en la toma de decisiones a la hora de implantar sistemas de información de alto impacto organizacional. Se deja para futuros trabajos la evaluación de dicho aprendizaje.

Igualmente, se realiza una revisión bibliográfica exhaustiva de los modelos existentes sobre adopción y difusión de innovaciones, así como de los modelos específicos de aceptación de sistemas informáticos. Nuestro estudio también ha examinado las barreras humanas a la adopción y uso de los sistemas informáticos. Existen publicaciones sobre fracasos en la implementación de tecnologías de la información relacionados con las personas, si bien son disjuntas y dispersas. Es un ámbito de investigación multidisciplinario que abarca las ramas de las tecnologías de la información, las organizaciones y las personas, pero que precisa ser armonizado. Curiosamente el área que menos está contribuyendo al estudio de las barreras humanas es la Psicología.

Con esta combinación de conocimientos de áreas como Informática, Organización de Empresas y Psicología en una revisión integradora sobre la base de un modelo dinámico se confirma que la implementación de tecnologías de la información es un reto realmente multidisciplinario que implica al estudio de la tecnología, de las organizaciones, y de las persona.

Además, se desprende una aportación desde el punto de vista académico y curricular. Los profesionales y directivos en el sector de las tecnologías de la información que tienen que liderar la innovación y el cambio tecnológico en las organizaciones necesitan tener una perspectiva sistémica amplia así como adquirir conocimientos sólidos de gestión de las organizaciones y de las personas. Y esto debiera trasladarse a los planes de estudio que certifiquen el acceso a la profesión de Ingeniero en Informática.

El resultado final es un modelo de Dinámica de Sistemas internamente coherente, en consonancia con las observaciones de la experiencia y que está fundamentado en las teorías existentes y en trabajos previos, que da un paso adelante en el nivel de especificidad de las relaciones sistémicas de factores que pueden determinar el éxito y el fracaso de la implantación de sistemas para la gestión estratégica universitaria por medio de tecnologías de la información. Las variables y las relaciones que conforman el modelo están basadas en la literatura existente, sin embargo, tomados en su conjunto ofrecen una nueva visión del problema que nos ocupa. El modelo proporciona un comportamiento cualitativo del sistema y es una herramienta que ayuda a la comprensión y a la toma de decisiones en el proceso de adopción de innovaciones como estamos considerando a los sistemas informáticos de alto impacto organizacional.

Si bien un modelo de simulación dinámica es una abstracción matemática de la realidad que necesariamente implica una pérdida de riqueza, se constata la existencia de dos ventajas. En primer lugar, la simulación confirma la coherencia de los supuestos derivados del marco teórico, ya que el

comportamiento del modelo comprueba el conocimiento experto capturado en la fase de identificación del problema y de análisis del comportamiento representado en los correspondientes modos de referencia. En segundo lugar, el modelo nos facilita un laboratorio virtual en el cual nos permite detectar consecuencias de la interacción de los fundamentos de la teoría que no son intuitivas como es la paradoja de que cuanto más se fomenta el aprendizaje, más sólidas son las barreras para el aprendizaje.

Esto último nos indica que los modelos de simulación dinámica pueden acelerar la curva de aprendizaje de los responsables de la toma de decisiones al facilitarles una visión nueva de la estructura del sistema y de su comportamiento dinámico. A la vez les permite actuar en diferentes escenarios, ensayar distintas políticas y experimentar “en frío” las consecuencias de sus propias decisiones. El hecho de que se oriente hacia la estrategia más que al resultado final refuerza dicho proceso de aprendizaje. Al mismo tiempo es una metodología que facilita la comunicación y el debate de los elementos clave de la gestión. Esto nos demuestra la utilidad de la Dinámica de Sistemas para manejar problemas complejos como el que nos ocupa en los que no existen soluciones universales. En definitiva, es una herramienta que puede ayudar a la toma de decisiones y al alineamiento de la organización.

Los resultados de esta tesis pueden ser usados tanto por los investigadores como por los profesionales. Para la academia este trabajo ofrece un compendio coherente de las principales referencias teóricas necesarias para el estudio de los fracasos en la implementación de tecnologías de la información relacionados con las organizaciones y las personas. Los profesionales del sector de las tecnologías de la información pueden utilizar este conocimiento para desarrollar estrategias que faciliten la adopción de sistemas informáticos de alto impacto organizacional.

La originalidad de esta tesis se asienta en los siguientes cuatro pilares. En primer lugar, proponemos un modelo discontinuo de implantación de la tecnología frente a modelos evolutivos. Los principales modelos de adopción de innovaciones en general, o de sistemas de información en particular, son modelos continuos. Un escenario de adopción tecnológica gradual no es compatible con los resultados de la investigación a nivel de organización como los obtenidos por autoras como Wanda Orlikowski que sugieren que los patrones de modificaciones son discontinuos e irregulares ya que según se va ganando experiencia se tiende a la rutina y las oportunidades de modificar sus hábitos se produce sólo ocasionalmente.

En segundo lugar, presentamos un modelo sistémico frente a los modelos lineales existentes. Diversas publicaciones en diferentes áreas argumentan que la implementación de tecnologías es un proceso complejo; sin embargo, los modelos de adopción de sistemas de información estudiados en el capítulo 4 (el Modelo de Aceptación de la Tecnología y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean) son lineales. Además el ámbito donde se introducen dichas innovaciones tecnológicas, la universidad, es también un sistema complejo. En esta tesis enfocamos el problema como un sistema dinámico complejo creado por la interacción de diferentes mecanismos de realimentación. El enfoque de la Dinámica de Sistemas es acertado porque estamos ante un problema en el que no es posible encontrar ni soluciones óptimas ni soluciones generales; solamente se pueden obtener tendencias o direcciones.

Tercero, incorporamos los conceptos de teoría expuesta (*espoused theory*) y teoría en uso (*theory-in-use*) propuestos por Chris Argyris y Donald Schön para explicar la contradicción de que el fomento del aprendizaje estimula la aparición de barreras para el aprendizaje. La idealización a nivel organizacional del potencial de las tecnologías de la información genera rutinas organizacionales defensivas que evitan discusiones y reflexiones críticas por miedo a parecer ignorante, impidiendo el aprendizaje.

En cuarto lugar, introducimos una relación no lineal de la satisfacción con el resto de variables. En los modelos existentes de adopción de sistemas informáticos que incluyen la satisfacción como variable (el Modelo de Aceptación de la Tecnología y el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean), consideran una influencia lineal simple de la satisfacción. Como parte de las aportaciones de esta tesis incluimos la Teoría de los Factores de Frederick Herzberg que señala que la motivación de las personas depende de dos factores: higiénicos o desmotivadores y motivacionales. No son dos factores linealmente opuestos. Los factores higiénicos o desmotivadores no sólo generan insatisfacción sino que bloquean las acciones motivadoras. Los factores motivacionales son los que realmente motivan, siempre y cuando no estén activos factores higiénicos.

### **10.3 Limitaciones**

Debemos reconocer algunas de las limitaciones de nuestra investigación. Los expertos en implementación o en cada una de las áreas que fundamentan este trabajo echarán en falta variables no recogidas en el modelo y que les serán más cercanas. La única justificación para esta simplicidad del modelo presentado, más allá de que todo modelo es reduccionista por definición, es justificar que la línea de investigación necesita comenzar en alguna parte. El

modelo indudablemente podría ser más complejo, pero hay que tener en cuenta que previamente no se ha utilizado la simulación dinámica en esta área que se sitúa en la confluencia de las fronteras de otras disciplinas. En este momento, cualquier complejidad añadida limitaría la capacidad de comprensión de la dinámica del núcleo, por lo que, además de su contribución directa, debe entenderse como un primer paso para futuros modelos que recojan más variables u otras estructuras de realimentación.

Quedan fuera del alcance de esta tesis las pruebas de evaluación del aprendizaje a nivel organizacional debido al uso del modelo. La razón es que dicho proceso de aprendizaje es lento e dificultoso porque los experimentos a nivel de la organización tardan tiempo y porque los modelos mentales son resistentes al cambio.

Por último conviene reiterar que un modelo de Dinámica de Sistemas no debe verse como un oráculo sino como una herramienta que permite contrastar los modelos mentales y ensayar diferentes estrategias en una realidad virtual, con objeto aprender y ganar confianza de cara a la toma de decisiones.

#### **10.4 Futuras líneas de trabajo**

El trabajo realizado, como toda investigación, abre el camino hacia nuevas posibles líneas de trabajo en el futuro. A continuación proponemos las que nos parecen más interesantes.

Una línea que supone una continuación natural de este trabajo es la realización de las pruebas de evaluación del aprendizaje a nivel organizacional del modelo que no se habían contemplado como objetivos de esta tesis. Como ya hemos indicado los sistemas sociales sólo tienen reacciones significativas a largo plazo, lo que hace que ciertos resultados se produzcan lenta y gradualmente dificultando la detección de la relación causa-efecto. Para ello existe una oportunidad que no se puede dejar escapar como es la puesta en marcha en el curso 2010/2011 del nuevo sistema informático UNIKUDE, que va a servir para administrar vía web tanto el sistema de gestión por procesos como la planificación estratégica de los centros universitarios de la UPV/EHU.

Otra línea de trabajo consiste en profundizar en los modelos de motivación para enriquecer el modelo. En esta tesis se ha optado por uno generalista, pero no lineal, como es la Teoría de los Factores de Frederick Herzberg. Sin embargo existen otras propuestas más elaboradas como la Teoría de las Expectativas de Vroom, que incide sobre el individuo y que considera expresamente la posibilidad de motivaciones negativas (cuestión que no ocurre con Herzberg).

Por otro lado, por la propia naturaleza de este trabajo, los campos de aplicación del mismo son amplios. En este sentido, pensamos que también estamos ante sendas líneas de trabajo, que empiezan a ser incipientes, en dos áreas con condicionamientos y circunstancias similares.

Un área es la gestión de la transferencia a la sociedad de los resultados de la investigación y desarrollo para que se desemboquen en innovaciones. En la interacción entre los sistemas de gestión de investigación de las universidades y los sistemas de gestión de investigación regionales o nacionales, se identifican grandes debilidades traducidas en una falta de correspondencia que hace difícil el aprovechamiento de los recursos materiales, humanos y especialmente del capital intelectual y conocimiento producido. Existe una oportunidad de desarrollo de modelo de simulación dinámica que ayuden tanto a los directivos de diversos ámbitos como a los grupos de investigadores interesados en el debate y comprensión del proceso de transferencia y gestión del conocimiento entre las universidades y la sociedad.

Una segunda área, relacionada con la anterior, es el estudio de modelos de fomento del emprendizaje como consecuencia del *spin-off* académico, tanto en educación superior como en formación profesional. Si bien actualmente las políticas públicas del entorno están realizando esfuerzos de intervención en cuestiones más estratégicas como el fomento de la cultura emprendedora y su incardinación curricular, se precisan herramientas que ayuden a la creación de empresas. Existen experiencias contrastadas y exitosas, como el programa *Entrepreneur* que se desarrolla desde hace unos años en el Campus de Gipuzkoa de la UPV/EHU; sin embargo, también ha habido fracasos que pueden ser una interesante fuente para el aprendizaje. Igualmente existen resultados de investigación sobre la actitud, cultura y de las habilidades emprendedoras en los estudiantes universitarios del Campus de Gipuzkoa. Sin embargo no existe un modelo que recoja el conocimiento existente y ayude a los expertos a la implantación de nuevas iniciativas empresariales de base científico-tecnológica. Nos encontramos ante un sistema dinámico y complejo, donde actúan distintos actores y organismos con distintas percepciones e intereses, en distintos niveles.

Además, durante el proceso de elaboración de esta tesis, hemos tenido la oportunidad de conocer numerosas aportaciones tanto en el área de trabajo como en disciplinas adyacentes. Esto ha facilitado que aparezcan posibles líneas de desarrollo que no son nucleares a la tesis, pero que a juicio del autor

merecen ser profundizadas dado que no se han encontrado una respuesta satisfactoria.

Por un lado, Tyre y Orlikowski, cuando estudian en profundidad la fase inicial del proceso de adaptación tecnológica en organizaciones (ver apartado 6.1.1), observan que es altamente discontinua, de forma que cae drásticamente después de una ráfaga inicial de actividad intensa, pero advierten además que acontecimientos inesperados pueden disparar pequeñas réplicas de actividad de adaptación [TYRE93, TYRE94]. Sin embargo, el autor no ha encontrado referencias a una explicación satisfactoria de este fenómeno. El tipo de respuesta parece sugerir un comportamiento sistémico con la interacción de diferentes bucles de realimentación y la combinación de diferentes retardos.

Una segunda línea colateral a esta tesis es el estudio en profundidad del carácter sistémico del Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean (ver apartado 4.8). De los comentarios de los autores se desprende el carácter sistémico del mismo, pero como hemos analizado dicho modelo no sería sostenible, lo cual apunta a la necesidad de una reformulación del modelo con la inclusión de bucles de realimentación que regulen el sistema.

Una tercera línea de trabajo adyacente a la tesis que también relacionada con el estudio realizado en el capítulo 4, sería combinar el Modelo de Aceptación de la Tecnología, TAM (ver apartado 4.7), con el Modelo de Éxito de Sistemas de Información de Delone y Mclean, D&M (ver apartado 4.8). Ambos modelos se utilizan especialmente en la investigación del área de Sistemas de Información, sin embargo es una posibilidad que implica ciertos retos porque el modelo TAM es fundamentalmente lineal y el modelo D&M tiene una vocación sistémica porque el conjunto de variables que lo componen están propuestas como interrelacionadas en lugar de ser independientes entre sí.

## 11 Referencias bibliográficas

*“Siempre imaginé que el Paraíso sería algún tipo de biblioteca”.*

*-Jorge Luis Borges-*

*“Por grandes y profundos que sean los conocimientos de un hombre, el día menos pensado encuentra en el libro que menos valga a sus ojos, alguna frase que le enseña algo que ignora”.*

*-Mariano José de Larra-*

- [ABDE91] Abdel-Hamid T.K., Madnick S.E. (1991). "Software Project Dynamics: An Integrated Approach". Prentice-Hall.
- [ACM01] ACM/IEEE Joint Task Force on Computing Curricula. (2001). "CC2001. Computing Curricula 2001, Computer Science". ACM Press. ([www.acm.org/education/curricula.html](http://www.acm.org/education/curricula.html)).
- [ACM05] ACM/AIS/IEEE-CS Joint Task Force for Computing Curricula. (2005). "CC2005. Computing Curricula 2005. The Overview Report". ACM Press. ([www.acm.org/education/curricula.html](http://www.acm.org/education/curricula.html)).
- [ACM06] ACM/AIS Joint Task Force on Information Systems Curricula. (2006). "MSIS2006. Model Curriculum and Guidelines for Graduate Degree Programs in Information Systems". ACM Press. ([www.acm.org/education/curricula.html](http://www.acm.org/education/curricula.html)).
- [ACM08] ACM/IEEE-CS Task Force on IT Curriculum. (2008). "IT2008. The Computing Curricula Information Technology Volume". ACM Press. ([www.acm.org/education/curricula.html](http://www.acm.org/education/curricula.html)).
- [ACM10] ACM/AIS Joint Task Force on Information Systems Curricula. (2010). "IS2010. Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Information Systems". ACM Press. ([www.acm.org/education/curricula.html](http://www.acm.org/education/curricula.html)).
- [ACS05] Acs Z.J., Audretsch D. (2005). "Entrepreneurship, Innovation and Technological Change". Now Publishers, Boston.
- [AGAR98] Agarwal R., Prasad, J. (1998). "The antecedents and consequents of user perceptions in information technology adoption". *Decision Support Systems*, Vol. 22, No. 1, pp. 15-29.
- [AGGE09] Aggelidis V.P., Chatzoglou P.D. (2009). "Using a modified technology acceptance model in hospitals". *International Journal of Medical Informatics*, Vol. 78, No. 2, pp. 115-126.

- [AJZE80] Ajzen I., Fishbein M. (1980). "Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior". Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- [AJZE85] Ajzen I. (1985). "From intentions to actions: A theory of planned behaviour". En Kuhl J., Beckman J. (eds.). "Action-control: From cognition of behaviour". Springer, Heidelberg, pp. 11-39.
- [AJZE88] Ajzen I. (1988). "Attitudes, personality and behaviour". Dorsey Press, Chicago.
- [AJZE91] Ajzen I. (1991). "The theory of planned behavior". Organizational behavior and human decision processes, 50, pp. 179 -211.
- [ALAV01] Alavi M., Leindner D.E. (2001) "Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issue". MIS Quarterly, Vol. 25, No. 1, pp. 107-136.
- [ALDE72] Alderfer C. (1972). "Existence, Relatedness and Growth; Human Needs in Organizational Settings". Free Press, New York.
- [ALVA98] Álvarez Y. (1998). "Análisis dinámico de la gestión de proyectos I+D". Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.
- [ALVA06] Álvarez Y. (2006). "Análisis dinámico de un proyecto de investigación y desarrollo". Revista de Dinámica de Sistemas Vol. 2, No. 1, pp. 3-35.
- [AMOA04] Amoako-Gyampah K. and Salam A.F. (2004). "An extension of the technology acceptance model in an ERP implementation environment". Information & Management, 41, pp. 731-745.
- [ANDE97] Andersen D.F., Richardson G.P. (1997). "Scripts for group model building". System Dynamics Review, 13 (2), pp. 107-129.

- [ANDE02] Andersson C., Karlsson L., Nedstam J., Höst M., Nilsson B.I. (2002). "Understanding Software Processes through System Dynamics Simulation: A Case Study". Proceedings of the 9th IEEE Conference and Workshop on the Engineering of Computer-Based Systems (ECBS'02).
- [ANDE07] Andersen D.F., Vennix J.A.M., Richardson G.P., Rouwette E. (2007). "Group model building: problem structuring, policy simulation and decision support". Journal of the Operational Research Society, Vol. 58, No. 5, pp. 691-694.
- [ANEC04] ANECA (2004). "Libro Blanco del Título de Grado en Ingeniería Informática". Disponible en <http://www.aneca.es>.
- [ANGE99] Angehrn A., Atherton J. (1999). "A Conceptual Framework for Assessing Development Programmes for Change Agents", 7th European Conference on Information Systems (ECIS-99).
- [ARAC78] Aracil J. (1978). "Introducción a la dinámica de sistemas". Alianza Editorial, Madrid.
- [ARAC93] Aracil J., Toro M. (1993). "Métodos Cualitativos en Dinámica de Sistemas". Universidad de Sevilla, Sevilla.
- [ARAC95] Aracil J. (1995). "Dinámica de Sistemas". Monografías de Ingeniería de Sistemas, Isdefe, Madrid.
- [ARAC97] Aracil J., Gordillo F. (1997). "Dinámica de Sistemas". Alianza Editorial, Madrid.
- [ARGY78] Argyris C., Schön D.A. (1978). "Organizational Learning: A Theory of Action Perspective". Addison-Wesley, Reading, Massachusetts.
- [ARGY90] Argyris C. (1990). "Overcoming organizational defences: facilitating organizational learning". Prentice Hall.
- [ARGY96] Argyris C., Schön D.A. (1996). "Organizational learning II: theory, method, and practice". Addison-Wesley, Reading,

Massachusetts.

- [ARMB08] Armbruster H., Bikfalvi A., Kinkel S., Lay G. (2008). "Organizational innovation: The challenge of measuring non-technical innovation in large-scale surveys". *Technovation*, Vol. 28, pp. 644-657.
- [ARTH99] Arthur D.J.W., Winch G.W. (1999). "Extending model validity concepts and measurements in system dynamics". *Proceedings of the 17th International Conference of the System Dynamics Society*.
- [AVER01] Averett P. (2001). "People: The human side of systems technology". *The Journal for Quality and Participation*, Vol. 24, pp. 34-36.
- [BARD08] Bardhan I.R., Gupta A., Tallon P. (2008). "Research perspectives on innovation through information technology management in a networked world". *Information Technology and Management*, Vol. 9, No. 3, pp. 147-148.
- [BAND77a] Bandura A. (1977). "Self-efficacy: toward unifying theory of behavior change". *Psychological Review*, Vol. 84, pp. 191-215.
- [BAND77b] Bandura A. (1977). "Social Learning Theory". *General Learning Press*, New York.
- [BAND82] Bandura A. (1982). "Self-efficacy mechanism in human agency". *The American Psychologist*, Vol. 37, No. 2, pp. 122-147.
- [BAND86] Bandura A. (1986). "Social Foundations of Thought and Action". *Prentice-Hall*, New York.
- [BAND97] Bandura, A. (1997). "Self-efficacy: The Exercise of Control". *W.H. Freeman*, New York.
- [BARL86] Barley S.R. (1986). "Technology as an occasion for structuring: evidence from observation of CT scanners and the social order of radiology departments". *Administrative Science Quarterly*,

Vol. 31, No. 1, pp. 78-108.

- [BARL96] Barlas Y. (1996). "Formal aspects of model validity and validation in system dynamics". *System Dynamics Review*, Vol. 12, No. 3, pp. 183-210.
- [BARR06] Barrett M., Grant D., Wailes N. (2006). "ICT and Organizational Change: Introduction to the Special Issue". *The Journal of Applied Behavioral Science*, Vol. 42, No. 1, pp. 6-22.
- [BASS69] Bass F. (1969). "A new product growth for model consumer durables". *Management Science* 15(5): pp. 215-227. *Reeditado: Management Science 50 (12 Supplement, 2004), pp. 1825-1832.*
- [BASS04] Bass F. (2004). "Comments on 'A New Product Growth for Model Consumer Durables'. The Bass Model". *Management Science* 50 (12 Supplement), pp. 1833-1840.
- [BAUM96] Baumard Ph. (1996). "Organisations déconcertées. La gestion stratégique de la connaissance". Ed. Masson, Paris.
- [BAUM00] Baumard Ph. (2000). "Tacit Knowledge in Organizations". Ed. Sage, London.
- [BEAT92] Beatty C. (1992). "Implementing Advanced Manufacturing Technologies: Rules of the Road". *Sloan Management Review*, Vol. 33, No. 4, pp. 49-6.
- [BENB07] Benbasat I., Barki H. (2007). "Quo vadis TAM?". *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 8, No. 4, Article 16.
- [BERN08] Bernroider E.W.N. (2008). "IT governance for enterprise resource planning supported by the DeLone-McLean model of information systems success". *Information & Management*, Vol. 45, No. 5, pp. 257-269.
- [BERT68] Bertalanffy L.von. (1968). "General System Theory: Foundations, Development, Applications". George Braziller;

Revised edition (1976). *Edición en castellano: "Teoría general de los sistemas: fundamentos, desarrollo, aplicaciones"*. Fondo de Cultura Económica, Madrid, 1993.

- [BLAC03] Black L.J. et al. (2003). "A Dynamic Theory of Collaboration: A Structural Approach to Facilitating Intergovernmental Use of Information Technology". Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS'03).
- [BLAC04] Black L.J., Carlile P.R., Repenning N.P. (2004). "A Dynamic Theory of Expertise and Occupational Boundaries in New Technology Implementation: Building on Barley's Study of CT Scanning". *Administrative Science Quarterly*, Vol. 49 No. 4, pp. 572-607.
- [BRAU02] Braun, William, *The System Archetypes*, 2002. Disponible en [http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sd/wb\\_sysarch.pdf](http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sd/wb_sysarch.pdf).
- [BRID06] Bridgman T., Willmott H. (2006). "Institutions and Technology: Frameworks for Understanding Organizational Change—The Case of a Major". *The Journal of Applied Behavioral Science*, Vol. 42, No. 1, pp. 110-126.
- [CARE01a] Career Space. (2001). "Directrices para el desarrollo curricular. Nuevos currículos de TIC para el siglo XXI: el diseño de la educación del mañana". Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- [CARE01b] Career Space. (2001). "Perfiles de capacidades profesionales genéricas de TIC. Capacidades profesionales futuras para el mundo del mañana". Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo.
- [CHAU00] Chau P.Y.K., Tam K.Y. (2000). "Organizational adoption of open systems: a 'technology-push, need-pull' perspective". *Information & Management*, 37, pp. 229-239.
- [CIBO96] Ciborra C. (1996). "Introduction: what does groupware mean for the organizations hosting it?" *Groupware and teamwork*. John Wiley & Sons, New York, pp. 1-19.

- [CIBO97] Ciborra C. (1997). "De profundis? Deconstructing the concept of strategic alignment". En: Braa, K. and Monteiro, E. Editors, 1997 Department of Informatics, University of Oslo, Oslo, pp. 807-820.
- [COOP90] Cooper R.B., Zmud R.W. (1990), "Information technology implementation research: a technological diffusion approach", *Management Science*, Vol. 36 No. 2, pp. 123-139.
- [COST98] Costanza R., Ruth M. (1998). "Using dynamic modeling to scope environmental problems and build consensus". *Environmental Management* 22 (2), pp. 183-195.
- [COYL77] Coyle R.G. (1977). "Management System Dynamics". John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- [COYL96] Coyle R.G. (1996). "System Dynamics Modelling: A Practical Approach". Chapman and Hall, London.
- [COYL97] Coyle R.G. (1997). "System Dynamics at Bradford University: A Silver Jubilee Review". *Systems Dynamics Review*, Vol. 13, No. 4, pp. 311-321.
- [COYL00] Coyle R.G., Exelby D. (2000). "The Validation of Commercial System Dynamics Models". *Systems Dynamics Review*, Vol. 16, No. 1, pp. 27-41.
- [DAMA91] Damanpour F. (1991), "Organizational innovation: a meta-analysis of effects of determinants and moderators", *Academy of Management Journal*, Vol. 34 No. 3, pp. 555-590.
- [DAVA03] Davalillo A., Panera F., Morlán I. (2003). "Experiment for Introducing a Quality Management System in the University Training According to ISO 9001:2000". *Proceedings of the 6th Toulon - Verona Quality in Higher Education, Health Care and Local Government Conference*, pp. 65-78.
- [DAVA08] Davalillo A. et al. (2008). "Guía para la dirección de un centro universitario basada en la gestión por procesos". Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.

- [DAVE97] Davenport T.H. (1997). "Information Ecology". Oxford University Press, New York.
- [DAVE98] Davenport T.H., Prusak L. (1998). "Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know". Harvard Business School Press, Boston..
- [DAVE02] Davenport T.H., Cantrell S. et al. (2002). "Enterprise solutions: Get with the program". Accenture Outlook Journal, July, pp. 48-55.
- [DAVE04] Davenport T.H., Harris J.G., Cantrell S. (2004). "Enterprise systems and ongoing process change". Business Process Management Journal, Vol. 10, No. 1, pp. 16-26
- [DAVI89a] Davis F.D. (1989). "Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology". MIS Quarterly, 13(3), pp. 319-340.
- [DAVI89b] Davis F.D., Bagozzi R.P., Warshaw P.R. (1989). "User acceptance of computer technology: a comparison of two theoretical models". Management Science, Vol. 35, No. 8, pp. 982-1003.
- [DAVI03] Davison R.M., Martinsons M.G. (2003), "Cultural Issues and IT Management: Past and Present", IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 50, No. 1, pp. 3-7.
- [DAVI06] Davidson E. (2006). "A Technological Frames Perspective on Information Technology and Organizational Change". The Journal of Applied Behavioral Science, Vol. 42, No. 1, pp. 23-39.
- [DELO92] DeLone W.H., McLean E.R. (1992). "Information systems success: The quest for the dependent variable". Information Systems Research, vol. 3, pp. 60-95.
- [DELO03] Delone W.H., McLean E.R. (2003). "The DeLone and McLean model of Information Systems Success: a Ten-Year update". Journal of Management Information Systems 19(4), pp. 9-30.

- [DELO04] DeLone W.H., McLean E.R. (2004). "Measuring e-Commerce success: Applying the DeLone & McLean information systems success model". *International Journal of Electronic Commerce*, Vol. 9, No. 1, pp. 31-47.
- [DEWE01] Dewett T., Jones G.R. (2001). "The role of information technology in the organization: A review, model, and assessment". *Journal of Management*, Vol. 27, pp. 313-346.
- [DIEZ09] Diez, E., McIntosh, B.S. (2009). "A review of the factors which influence the use and usefulness of information systems". *Environmental Modelling & Software*, Vol. 24, No. 5, pp. 588-602.
- [DOLA00] Dolado J.J., Fernández L. (2000). "Medición para la gestión en la Ingeniería del Software". Editorial Ra-Ma.
- [EDEL80] Edelwich, J., Brodsky, A. (1980). "Burn-Out: Stages of Disillusionment in the Helping Professions". Human Sciences Press, New York.
- [EDLE02] Edler J., Meyer-Krahmer F., Reger G. (2002) "Changes in the Strategic Management of Technology: Results of a Global Benchmarking Study". *R&D Management*, Vol. 32. pp. 149-164.
- [EDMO03] Edmonson A.C. (2003). "Framing for learning: Lessons in successful technology implementation". *California Management Review*, Vol. 45, pp. 34-53.
- [FAN06] Fan J.C., Fang K. (2006). "ERP Implementation and Information Systems Success: A Test of DeLone and McLean's Model". *Proceedings of Portland International Conference on Management of Engineering & Technology, PICMET'2006*.
- [FARB83] Farber B.A. (1983). "Stress and Burnout in the Human Services Professions". Pergamon Press, New York.
- [FISH75] Fishbein M., Ajzen I. (1975). "Belief, attitude, intention and behavior: an introduction to theory and research". Reading,

MA: Addison-Wesley.

- [FORD98] Ford D.N., Sterman J.D. (1998). “Dynamic Modeling of Product Development Processes”. *System Dynamics Review* 14, pp. 31-68.
- [FORR61] Forrester J.W. (1961). “Industrial Dynamics”. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [FORR68] Forrester J.W. (1968). “Industrial Dynamics-After the First Decade”. *Management Science*, Vol. 14, No. 7, pp. 398-415.
- [FORR69] Forrester J.W. (1969). “Urban Dynamics”. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [FORR71] Forrester J.W. (1971). “World Dynamics”. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- [FORR80] Forrester J.W., Senge P.M. (1980). “Tests for Building Confidence in System Dynamics Models”. *TIMS Studies in Management Science*, Vol. 14, pp. 209-228.
- [FORR87] Forrester J.W. (1987). “Lessons from system dynamics modelling”. *System Dynamics Review*, Vol. 3, No. 2, pp. 136-149.
- [FRAM98] Frambach R.T., Barkema H.G., Nooteboom B., Wedel M. (1998). “Adoption of a Service Innovation in the Business Market An Empirical Test of Supply-Side Variables”. *Journal of Business Research* 41, pp. 161-174.
- [FRAM02] Frambach R.T., Schillewaert N. (2002) “Organizational innovation adoption: a multi-level framework of determinants and opportunities for future research”. *Journal of Business Research*, pp.163-176.
- [FRAN07] Franco D. 2007. “Fifty years of table functions”. *Proceedings of the 25th International Conference of the System Dynamics Society*.

- [FULL01] Fullan M. (2001). "Leading in a Culture of Change". Jossey-Bass Publishers.
- [GARY09] Gary M.S., Kunc M., Morecroft J.D.W., Rockart S.F. (2009). "System dynamics and strategy". *System Dynamics Review*, Vol. 24, No. 4, pp. 407-429.
- [GEOR05] Georgantzas N.C., Peeva N.A., Weinberg H. (2005). "Disruptive Innovation Diffusion". *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*.
- [GHAL04] Ghalib A.K. (2004). "Systemic Knowledge Management: Developing a Model for Managing Organisational Assets for Strategic and Sustainable Competitive Advantage". *Journal of Knowledge Management Practice*, January.
- [GIDD79] Giddens A. (1979). "Central problems in Social Theory: Action, Structure and Contradiction in Social Analysis". University of California Press.
- [GIDD84] Giddens A. (1984). "The Constitution of Society. Outline of the Theory of Structuration". Polity Press Cambridge.
- [GILB04] Gilbert D., Balestrini P., Littleboy D. (2004). "Barriers and benefits in the adoption of e-government". *International Journal of Public Sector Management*, Vol. 17, No. 4, pp. 286-301.
- [GODI02] Godin S. (2002). "Survival Is Not Enough: Why Smart Companies Abandon Worry and Embrace Change". Free Press.
- [GOOD05] Goode S. (2005). "Exploring the factors of innovation rejection". ANU School of Business and Information Management Working Paper Series, Vol. 1, No. 1.
- [GRIF02] Griffith T., Tansik D., Benson L. (2002). "Negotiating technology implementation: An empirical investigation of a website introduction". *Group Decision and Negotiation*, Vol. 11, pp. 1-22.

- [GROE05] Groessler A. (2005). "An Exploratory System Dynamics Model of Strategic Manufacturing Capabilities". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [GUO01] Guo H.C., Liu L., Huang G.H., Fuller G.A., Zou R., Yin Y.Y. (2001). "A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the Lake Erhai Basin". *Journal of Environmental Management* 61, pp. 93-111.
- [HARA03] Haraldsson H.V., Ólafsdóttir R. (2003). "Simulating vegetation cover dynamics with regards to long-term climatic variations in sub-arctic landscapes". *Global and Planetary Change*, 38, pp. 313-325.
- [HARA04] Haraldsson H.V., Sverdrup H.U. (2004). "Finding Simplicity in complexity in biogeochemical modelling". *Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity*. J. Wainwright and M. Mulligan". Wiley, New York, EE.UU, pp. 211-223.
- [HARA06] Haraldsson H.V., Ólafsdóttir R. (2006). "A novel modelling approach for evaluating the preindustrial natural carrying capacity of human population in Iceland". *Science of the Total Environment*, 372 (1), p.109-119.
- [HARP01] Harper G., Utley D. (2001). "Organizational culture and successful information technology implementation". *Engineering Management Journal*, Vol. 13, pp. 11-15.
- [HAWK04] Hawking P., Stein A., Foster S. (2004). "Revisiting ERP Systems: Benefit realisation". Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences.
- [HEIJ07] Heijkoop G., Cunningham S. (2007) "Using System Dynamics for Modeling Benefit Realization in the Adoption of New Business Software". Proceedings of the 2007 International Conference of the System Dynamics Society.
- [HENF00] Henfridsson O., Soderholm A. (2000). "Barriers to learning: on organizational defenses and vicious circles in technological

- adaptation”. *Accounting, Management and Information Technologies*, 10 (1), p.33-51.
- [HERZ66] Herzberg F. (1966). “Work and the nature of man”. World Publishing, Cleveland.
- [HERZ67] Herzberg F., Mausner B., Snyderman B. (1967). “The motivation to work”. John Wiley and Sons, New York.
- [HILM03] Hilmola O.P., Helo P., Kekäle T. (2003). “Economic Dynamics of R&D: Analysis of Technology and Development”. Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society.
- [HILS01] Hilson G. (2001). “Human factors play big role in IT failures”. *Computing Canada*, Vol. 27, pp. 1-8.
- [HINE05] Hines, J.H. (2005). “Molecules of Structure version: Building Blocks for System Dynamics Models”. Version 2.02. Ventana Systems and LeapTec, Cambridge, Massachusetts.
- [HIRS07] Hirsch G.B., Levine R., Miller R.L. (2007). “Using system dynamics modeling to understand the impact of social change initiatives”. *American Journal of Community Psychology*, Vol. 39, pp. 239-253.
- [HITT02] Hitt L.M., Wu D.J. et al. (2002). “ERP Investment: Business Impact and Productivity measures”. *Journal of Management Information Systems* Vol. 19, No. 1, pp. 71-98.
- [HOLM04] Holmström P., Elf M. (2004). “Staff retention and job satisfaction at a hospital clinic - a case study”. Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society.
- [HONG02] Hong K., Kim Y. (2002). “The critical success factors for ERP implementation: An organizational fit perspective”. *Information & Management*, Vol. 40, No. 1, pp. 25-40.
- [HOST05] Hofstede G.J. (2005). “Cultures and Organizations: Software of

the Mind". McGraw-Hill Professional.

- [HOWU04] Ho C.F., Wu W.H. et al. (2004). "Strategies for the adaption of ERP systems". *Industrial Management & Data Systems* 104(3), pp. 234-251.
- [ILIE03] Ilies R., Judge T.A. (2003). "On the Heritability of Job Satisfaction: The Mediating Role of Personality," *Journal of Applied Psychology*, Vol. 88, No. 4), pp. 750-759.
- [IMAI86] Imai M. (1986). "Kaizen: The Key to Japan's Competitive Success". McGraw-Hill/Irwin.
- [IMAI97] Imai M. (1997). "Gemba Kaizen: A Commonsense, Low-cost Approach to Management". McGraw-Hill Professional, London.
- [IVES83] Ives B., Olson M.H., Baroudi J.J. (1983). "The measurement of user information satisfaction", *Communications of the ACM*, Vol. 26, No. 10, pp. 785-793.
- [JELI02] Jeliaskova M., Westerheijden D.F. (2002). "Systemic adaptation to a changing environment: Towards a next generation of quality assurance models". *Higher Education*, 44, Kluwer Academic Publishers, pp. 433-448.
- [JENS97] Jensen B. (1997). "Make it simple! How simplicity could become your ultimate strategy". *Strategy & Leadership*, Vol. 25, No. 2, pp. 35-39.
- [JUDG01] Judge T.A., Larsen, R.J. (2001). "Dispositional Affect and Job Satisfaction: A Review and Theoretical Extension". *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 86, No. 1, pp. 67-98.
- [JUDG02] Judge T.A., Heller D., Mount M.K. (2002). "Five-factor Model of Personality and Job Satisfaction: A Meta-Analysis". *Journal of Applied Psychology*, Vol. 87, No. 3, pp. 530-541.
- [KAPL96] Kaplan R.S., Norton D.P. (1996). "Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action". Harvard Business School

Publishing.

- [KENN00] Kennedy M. (2000). “Towards a Taxonomy of System Dynamics Models of Higher Education”. Proceedings of the 18th International Conference of the System Dynamics Society.
- [KENN02] Kennedy M. (2002). “An Extended Taxonomy of System Dynamics Models of Higher Education”. Proceedings of the 20th International Conference of the System Dynamics Society.
- [KENN03] Kennedy M., Clare C. (2003). “A Comparison of the Application of Performance Indicators, System Dynamics Models and the Holon Framework to Quality Assessment in Higher Education”. Proceedings of the 21st International Conference of the System Dynamics Society.
- [KIM98] Kim D. (1989). “Learning Laboratories: Designing a Reflective Learning Environment”. Proceedings of the 7th International Conference of the System Dynamics Society.
- [KLEI95] Kleijnen J.P.C. (1995). “Verification and validation of simulation models”. European Journal of Operational Research, Vol. 82, No. 1, pp. 145-162. *Citado en ALVA98.*
- [KLEI96] Klein K.J., Sorra J.S. (1996). “The Challenge of Innovation Implementation”. The Academy of Management Review, Vol. 21, No. 4, pp. 1055-1080.
- [KLEI01] Klein K.J., Conn A.B., Sorra J.S. (2001). “Implementing computerized technology: An organizational analysis”. Journal of Applied Psychology, 86, pp. 3-16.
- [KLEI05] Klein K.J., Knight A.P. (2005). “Innovation implementation: Overcoming the challenge”. Current Directions in Psychological Science, 14, 243-246.
- [KOGU92] Kogut B., Zander U. (1992) “Knowledge of the Firm. Combinative Capabilities, and the Replication of Technology”, Organization Science, Vol. 3, No. 3, pp. 383-397.

- [KUNC05] Kunc M., Morecroft J.D.W. (2005). "Competitive Advantage, Strategy and Problem Structuring: Revealing the Role of Managerial Cognitive Asymmetries". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [KUNC08] Kunc M. (2008). "Using systems thinking to enhance strategy maps". Management Decision, Vol. 46, No. 5, pp. 761-778.
- [LABE05] Labeledz C., Stalker G. (2005). "Addressing Methodological Issues in Simulating a Human Resources Problem across Multiple Levels of Observation". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [LAMB03] Lamb R., Kling R. (2003). "Reconceptualizing Users as Social Actors in Information Systems Research". MIS Quarterly 27 (2), pp. 197-235.
- [LANE95] Lane D.C. (1995). "The folding star; a comparative reframing and extension of validity concepts in system dynamics", Proceedings of the 13th International Conference of the System Dynamics Society.
- [LEE94] Lee T.H. (1994). "Systemic Approach to Management TQM and Planning". Center for Quality of Management, Vol. 3, No. 4, pp. 24-35.
- [LEE03] Lee Y., Kozar K.A., Larsen K.R.T. (2003): "The Technology Acceptance Model: Past, Present, and Future". Communications of the Association for Information Systems, vol. 12, pp. 752-780.
- [LEE07] Lee S., Kim K. (2007). "Factors affecting the implementation success of Internet-based information systems". Computers in Human Behavior, Vol. 23, No. 4, pp. 1853-1880.
- [LEGR03] Legris P., Ingham J. et al. (2003). "Why do people use information technology? A critical review of the Technology acceptance model". Information & Management, Vol. 40, pp. 191-204.

- [LEIT05] Leiter M.P., Maslach, C. (2005). "Banishing burnout: Six strategies for improving your relationship with work". Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- [LEWI07] Lewis L.F., Bajwa D.S., Pervan G., King V.L.S., Munkvold B.E. (2007). "A Cross-Regional Exploration of Barriers to the Adoption and Use of Electronic Meeting Systems". *Group Decision and Negotiation*, Vol. 16, pp. 381-398.
- [LIAO09] Liao C.H., Tsou C.W. (2009). "User acceptance of computer-mediated communication: The SkypeOut case". *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, No. 3, pp. 4595-4603.
- [LIN08] Lin H.F. (2008). "Determinants of successful virtual communities: Contributions from system characteristics and social factors". *Information & Management*, Vol. 45, No. 8, pp.522-527.
- [LINA00] Linard K.T. (2000). "Application of System Dynamics to Pavement Maintenance Optimisation". *Proceedings of The 1st International Conference on Systems Thinking in Management*.
- [LOHE85] Loher B.T., Noe R.A., Moeller N.L., Fitzgerald M.P. (1985). "A Meta-Analysis of the Relation of Job Characteristics to Job Satisfaction". *Journal of Applied Psychology*, Vol. 70, No. 2, pp. 280-289.
- [LOVE02] Love P.E.D., Holt G.D., Shen L.Y., Li H., Irani Z. (2002). "Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems". *International Journal of Project Management* 20, pp. 425-436.
- [LYNE80] Lyneis J.M. (1980). "Corporate Planning and Policy Design". MIT Press, Cambridge.
- [LYNE07] Lyneis J.M., Ford D.N. (2007). "System dynamics applied to project management: a survey, assessment, and directions for future research". *System Dynamics Review*, Vol. 23, No. 2/3, pp. 157-189.

- [LYYT87] Lyytinen K., Hirschheim, R. (1987). "Information systems failures: A survey and classification of the empirical literature". Oxford Surveys in Information Technology, Vol. 4, pp. 257-309.
- [MADA07] Madachy R. J. (2007). "Software Process Dynamics". Wiley-IEEE Press.
- [MAIE92] Maier F.H. (1992). "R&D Strategies and the Diffusion of Innovations", Proceedings of the 1992 International Conference of the System Dynamics Society. p. 395-404.
- [MAIE95] Maier F.H. (1995). "Die Integration wissens- und modellbasierter Konzepte zur Entscheidungsunterstützung im Innovationsmanagement", Duncker & Humblodt, Berlin. *Citado en MAIE98.*
- [MAIE98] Maier F.H. (1998). "New Product Diffusion Models in Innovation Management - A System Dynamics Perspective". System Dynamics Review, Vol. 14, No.4, pp. 285-308.
- [MAHA90] Mahajan V., Muller E., Bass F. (1990). "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research". Journal of Marketing, Vol. 54, No. 1, pp. 1-26.
- [MALH99] Malhotra Y., Galletta D.F. (1999). "Extending the Technology Acceptance Model to Account for Social Influence: Theoretical Bases and Empirical Validation". Proceedings of the 32nd Hawaii International Conference on System Sciences - HICSS 1999, Vol. 1.
- [MANS81] Mansfield E., Rapoport J., Schnee J., Wagner S., Hamburger M. (1981). "Research and Innovation in the Modern Corporation: Conclusions". In Corporate Strategy and Product Innovation, R. R. Rothberg (ed.). New York-London, pp. 416-427.
- [MARC91] March J.G. (1991). "Exploration and Exploitation in Organizational Learning". Organization Science, Vol. 2, No. 1. pp. 71-87.

- [MART02] Martinsons M.G., Leung A. (2002). “Strategic information systems: A success factors model”. *International Journal of Services Technology and Management*, Vol. 3, pp. 398-416.
- [MART03a] Martín García J. (2003), “Teoría y ejercicios prácticos de Dinámica de Sistemas”. *Editado por el autor (ISBN 84-607-9304-4)*.
- [MART03b] Martinsons M.G., Davison R.M. (2003), “Cultural Issues and IT Management: Looking Ahead”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol. 50, No. 1, pp. 113-118.
- [MART04] Martín García J. (2004), “Sysware”. *Editado por el autor (ISBN 84-609-2462-9)*.
- [MART07a] Martinsons M.G., Davison R.M. (2007). “Culture’s Consequences for IT Application and Business Process Change: A Research Agenda”, *International Journal of Internet and Enterprise Management*, Vol. 5, No. 2, pp. 158-177.
- [MART07b] Martinsons M.G., Davison R.M. (2007). “Strategic decision making and support systems: Comparing American, Japanese and Chinese management”, *Decision Support Systems*, Vol. 43, No. 1, pp. 284-300.
- [MASH05] Mashayekhi A.N., Ghaffarzadegan N. (2005). “Stock Market Fluctuations: A System Dynamics Approach”. *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*.
- [MASL54] Maslow A. (1954). “Motivation and Personality”. Harper & Row, New York.
- [MASL97] Maslach C., Leiter M.P. (1997). “The Truth About Burnout: How Organizations Cause Personal Stress and What to Do About It”. Jossey-Bass Publishers, San Francisco.
- [MASL01] Maslach C., Schaufeli W.B., Leiter M.P. (2001). “Job burnout”. *Annual Review of Psychology*, Vol. 52, pp. 397-422.

- [MAST96] Masters R.J. (1996). "Overcoming the Barriers to TQM's Success". Quality Progress, May.
- [MCAF03] McAfee A. (2003). "When too much knowledge is a dangerous thing". MIT Sloan Management Review, Vol. 44, No. 2, pp. 83-89.
- [MCCL61] McClelland D.C. (1961). "The Achieving Society". Van Nostrand, Princeton, NJ.
- [MCCL85] McClelland D.C. (1985) "Human Motivation". Cambridge University Press, Cambridge, England.
- [MCGR60] McGregor D. (1960). "The Human Side of Enterprise". McGraw-Hill, New York.
- [MCGR66] McGregor D. (1966). "Leadership and Motivation". MIT Press, Cambridge, MA.
- [MCNI02] McNish M. (2002). "Guidelines for Managing Change: A study of their effects on the implementation of new information technology projects in organizations". Journal of Change Management, Vol. 2, pp. 201-211.
- [MEAD72] Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens III W.W. (1972). "The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind". Universe Books, New York.
- [MEAD92] Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. (1992). "Beyond the Limits: Confronting Global Collapse, Envisioning A Sustainable Future" Chelsea Green Publishing.
- [MEAD98] Meadows D.H., (1998). "Indicators and Information Systems for Sustainable Development". A report to the Balaton Group, Sustainability Institute.
- [MEAD04] Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. (2004). "Limits to Growth: The 30-Year Update". Chelsea Green Publishing.

- [MILL86] Milling P.M. (1986). “Diffusionstheorie und Innovationsmanagement. In Technologie- und Innovationsmanagement”. Ed. E. Zahn. Berlin: Duncker & Humblot: pp. 49-70. *Citado en MILL96.*
- [MILL93] Milling P.M., Maier F.H. (1993). “The impact of pricing strategies on innovation diffusion and R&D performance”. *System Dynamics: An International Journal of Policy Modelling* 6, pp. 27-35.
- [MILL96] Milling P.M. (1996). “Modeling innovation processes for decision support and management simulation”. *System Dynamics Review*. Vol. 12, No. 3, pp. 211-234.
- [MILL02a] Milling P.M. (2002). “Understanding and managing innovation processes”. *System Dynamics Review*. Vol. 18, No. 1, pp. 73-86.
- [MILL02b] Milling P.M., Maier F.H. (2002). “Dynamics of R&D and Innovation Diffusion”. *Proceedings of the 2001 International Conference of the System Dynamics Society*.
- [MOOR65] Moore G.E. (1965) “Cramming more components onto integrated circuits”. *Electronics*, vol. 38, n.8.
- [MOOR75] Moore G.E. (1975) “Progress in digital integrated electronics”, *IEEE International Electron Devices Meeting, IEDM Technical Digest*. pp. 11-13.
- [MORE92] Morecroft J.D.W., Sterman J.D. (1992). “Modelling for Learning”. *Special Issue of European Journal of Operational Research* 59. Whole issue.
- [MORE94] Morecroft J.D.W., Sterman, J.D. (1994). “Modeling for Learning Organizations”. *Productivity Press, Portland, EE.UU.*
- [MORE07] Morecroft J.D.W (2007). “Strategic Modelling and Business Dynamics: A Feedback Systems Approach”. *John Wiley & Sons, Chichester, UK.*

- [MORL04] Morlán I., Davalillo A., Nieto M., López R. (2004) “The Paradigm of Virtual Communities for Introducing a Quality Management System in University Training According to ISO 9001:2000”. Proceedings of the 7th Toulon - Verona Quality in Higher Education, Health Care and Local Government Conference, pp. 377-384.
- [MORL05] Morlán I., Nieto M., Dolado J., Davalillo A. (2005) “A Basic Dynamic Model to Understand and Prevent Barriers when Introducing Quality Systems in Higher Education Institutions”. Proceedings of the 8th Toulon - Verona Quality in Higher Education, Health Care and Local Government Conference, pp. 91-94.
- [MORL06a] Morlán I., Nieto M., Dolado J., Davalillo A. (2006) “La aplicación de la Dinámica de Sistemas para entender y prevenir barreras al introducir tecnologías de información en la gestión de la calidad de centros universitarios”. Proceedings del IV Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [MORL06b] Morlán I., Nieto M., Bengoetxea E., Davalillo A., Dolado J. (2006) “System Dynamics Modelling to Facilitate Understanding and Building Stakeholder Support for New Management Strategies in Universities”. Proceedings of the 9th Toulon - Verona Quality in Higher Education, Health Care and Local Government Conference.
- [MORL07] Morlán I., Dolado J., Davalillo A., Nieto M. (2007) “Modelo de Dinámica de Sistemas para explicar las barreras al aprendizaje debido a la aparición de defensas organizacionales en la introducción de nuevas tecnologías”. Proceedings del V Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas.
- [MORR00] Morris M.G., Venkatesh V. (2000). “Age Differences in Technology Adoption Decisions: Implications for a Changing Workforce”. *Personnel Psychology*, Vol. 53, No. 2, pp. 375-403.
- [MYER05] Myers R.S. (2005). “Navy Personnel Enterprise Model - A System Dynamics Approach”. Proceedings of the 23rd

International Conference of the System Dynamics Society.

- [NONA94] Nonaka I. (1994). "A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation". *Organization Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 14-37.
- [NONA95] Nonaka I., Takeuchi H. (1995). "The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation". Oxford University Press, New York.
- [NORT87] Norton J.A., Bass F.M. (1987) "A diffusion theory model of adoption and substitution for successive generations of high-technology products". *Management Science*, Vol. 33, No. 9, pp.1069-1086.
- [OCDE03] OCDE. (2003). "The Measurement of Scientific and Technological Activities: Frascati Manual 2002. Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development". OECD Publishing, Paris. *Editado en castellano por FECYT.*
- [OCDE05] OCDE, EUROSTAT. (2005). "Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition. The Measurement of Scientific and Technological Activities". OECD Publishing, Paris. *Editado en castellano por Grupo Tragsa.*
- [OLIV01] Oliva R., Sterman J.D. (2001). "Cutting Corners and Working Overtime: Quality Erosion in the Service Industry". *Management Science*, Vol. 47, No. 7, pp. 894-914.
- [ORLI92] Orlikowski W.J. (1992). "The duality of technology: Rethinking the concept of technology in organizations". *Organization Science*, Vol. 3, No. 3, pp. 398-427.
- [ORLI96] Orlikowski W.J. (1996) "Improvising organisational transformation over time: a situated change perspective". *Information Systems Research*, Vol. 7, No. 1, pp. 63-92.
- [ORLI00] Orlikowski W.J. (2000). "Using Technology and Constituting Structures: A Practice Lens for Studying Technology in

- Organisations”, *Organisation Science*, Vol. 11, No 4, pp. 404-428.
- [ORLI06] Orlikowski W.J., Yates J. (2006). “ICT and Organizational Change: A Commentary”. *The Journal of Applied Behavioral Science*, Vol. 42, No. 1, pp. 127-134.
- [ORTI04] Ortiz L., Sanchís F. (2004). “La Cienciometría como herramienta para la Gestión del Conocimiento. Su aplicación al caso de la investigación en Ingeniería del Software. Workshop red temática MIFISIS: Valladolid.
- [ORTI06a] Ortiz L., Morlán I. (2006) “Modelo Dinámico Integral de Interacción entre los Sistemas de Gestión de Investigación Universitarios y los Sistemas de Gestión de Investigación regionales/nacionales”. *Proceedings del IV Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas*.
- [ORTI06b] Ortiz L., Chaparro J. (2006) “Modelo de Gestión de Investigación Universitaria basado en la Gestión del Conocimiento. Propuesta y Validación inicial”. *X Congreso de Ingeniería de Organización (CIO2006)*.
- [ORTI06c] Ortiz A., Sarriegi J.M., Santos J. (2006). “Modelización de Variables *Soft*”. *Revista de Dinámica de Sistemas* Vol. 2, No. 1, pp. 67-101.
- [OTTO08] Otto P. (2008). “A system dynamics model as a decision aid in evaluating and communicating complex market entry strategies”. *Journal of Business Research*, Vol. 61, pp. 1173-1181.
- [OUBR03] Oubrich M. (2003). “Processus d’intelligence économique: Transformer l’information en connaissance”. *Proceedings of 8th AIM (Association Information and Management)*, Grenoble.
- [OUCH81] Ouchi W.G. (1981). “Theory Z: How American Business Can Meet the Japanese Challenge”. Addison-Wesley, Reading, MA.

- [PARE04] Paré G., Jutras J.F. (2004). “Are Information Technology Professionals Predisposed to Become Effective Change Agents?”. *Cahier du GReSI*, No. 04-08.
- [PARK02] Park M. (2002). “Dynamic Change Management for Fast-tracking Construction Projects”. *Proceedings of The 19th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*, pp. 81-89.
- [PARK04] Park H.J., Oh S.H., Kim S.J. (2004). “Leverage Strategy to National R&D Investment in Korea: A System Dynamics Approach”. *Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*.
- [PETT84] Petty M.M., McGee G.W., Cavender J.W. (1984). “A Meta-Analysis of the Relationships between Individual Job-Satisfaction and Individual-Performance”. *Academy of Management Review*, Vol. 9, No. 4, pp.712-721.
- [PFEF96] Pfeffer J. (1996). “Competitive Advantage Through People: Unleashing the Power of the Work Force”. Harvard Business School Press.
- [POLA58] Polanyi M. (1958). “Personal Knowledge. Towards a Post Critical Philosophy”. Routledge, London.
- [POLA66] Polanyi M. (1966). “The Tacit Dimension”. Routledge, London. *Reeditado: (2009). University of Chicago Press*.
- [PORT68] Porter L.W., Lawler E.E. (1968). “Managerial Attitudes and Performance” Richard D. Irwin, Homewood, Ill.
- [PREM03] Premkumar G. (2003), “A meta-analysis of research on information technology implementation in small business”. *Journal of Organizational Computing and Electronic Commerce*, Vol. 13, No. 2, pp. 91-121.
- [RAI02] Rai A., Lang S.S., Welker R.B. (2002). “Assessing the Validity of IS Success Models: An Empirical Test and Theoretical Analysis,” *Information Systems Research* Vol. 13, No. 1, pp.

50-69.

- [RAPO86] Rapoport A. (1986). "General System Theory: Essential Concepts and Applications". Abacus Press, Cambridge.
- [RAUN02] Raunera M.S., Schaffhauser-Linzatt M.M. (2002). "Impact of the new Austrian inpatient payment strategy on hospital behavior: a system-dynamics model". *Socio-Economic Planning Sciences* 36, pp. 161-182.
- [REDM04] Redman T.C. (2004). "Barriers to Successful Data Quality Management". *Studies in Communication Sciences* 4/2, pp. 53-68.
- [REGE94] Reger R., Gustafson L., DeMarie S., Mullane, J. (1994). "Reframing the organization: Why implementing total quality is easier said than done. *Academy of Management Review*, Vol. 19, No. 3, pp. 565-584.
- [REPE00] Repenning N.P. (2000). "A dynamic model of resource allocation in multi-project research and development systems". *System Dynamics Review*, Vol. 16, No. 3, pp. 173-212.
- [REPE01] Repenning N.P., Sterman J.D. (2001). "Nobody Ever Gets Credit for Fixing Problems that Never Happened: Creating and Sustaining Process Improvement". *California Management Review* 43 (4), pp. 64-88.
- [REPE02] Repenning N. (2002). "A Simulation-Based Approach to Understanding the Dynamics of Innovation Implementation". *Organization Science*, 13, 2, pp. 109-127.
- [REPE03] Repenning N.P., Sterman J.D. (2003). "Getting Quality the Old-Fashioned Way. Self-Confirming Attributions in the Dynamics of Process Improvement". Working papers WP 3952-97, Sloan School of Management (MIT).
- [RICH81] Richardson G., Pugh A.L. (1981). "Introduction to System Dynamics Modelling with DYNAMO". MIT Press, Cambridge.

- [RICH95] Richardson G. And Andersen D.F. (1995). "Teamwork in group model-building". *System Dynamics Review* 11, pp. 113-137.
- [RICH96] Richardson G. (1996). "Problems for the future of system dynamics", *System Dynamics Review*. Vol. 12, No. 2, pp. 141-157.
- [RIDD00] Riddalls C.E., Bennett S., Tipi N.S. (2000). "Modelling the dynamics of supply chains". *International Journal of Systems Science*, Vol. 31, No. 8, pp. 969-976.
- [RIFK03] Rifkin S. (2003). "Two good reasons why new software processes are not adopted". *Proceedings of 3rd International Workshop on Adoption-Centric Software Engineering, ACSE 2003*.
- [RIZZ03] Rizzuto T.E. (2003). "A Literature Overview of Technology Implementation Failure: The People-Barriers and Solutions". Presented at The Society for Industrial and Organizational Psychology Conference.
- [RIZZ07] Rizzuto T.E., Reeves J. (2007). "A Multidisciplinary Meta-Analysis of Human Barriers to Technology Implementation". *Consulting Psychology Journal: Practice and Research*, Vol. 59, No. 3, pp. 226-240.
- [RODR96] Rodrigues A., Bowers J. (1996). "The role of system dynamics in project management". *International Journal of Project Management* Vol. 14, No. 4,, pp. 213-220.
- [RODR06] Rodríguez D., Sicilia M.A., Cuadrado J.J., Pfahl D. (2006). "e-Learning in Project Management using Simulation Models: A Case Study based on the Replication of an Experiment". *IEEE Transactions on Education*, 49 (4), pp. 451-463.
- [ROGE62] Rogers E.M. (1962). "Diffusion of Innovations". New York. Free Press of Glencoe.
- [ROGE03] Rogers E.M. (2003). "Diffusion of Innovations", 5th edition.

New York.

- [ROUW02] Rouwette E.A.J.A., Vennix J.A.M., van Mullekom T. (2002). "Group Model Building effectiveness: a review of assessment studies". *System Dynamics Review*, Vol. 18, No. 1, pp. 5-45.
- [ROUW04] Rouwette E.A.J.A., Größler A., Vennix J.A.M. (2004). "Exploring influencing factors on rationality: A literature review of dynamic decision-making studies in system dynamics". *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 21, No. 4, pp. 351-370.
- [RUIZ01] Ruiz M., Ramos I., Toro M. (2001). "A simplified model of software project dynamics". *Journal of Systems and Software*, Vol. 59, No. 3, pp. 299-309.
- [SALA04] Salanova M., Cifre E., Martín P. (2004). "Information technology implementation styles and their relation with workers' subjective well-being". *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 24, pp. 42-54.
- [SAND05] Sandrock J., Weinhardt C. (2005). "System Dynamics Business Models for E-learning Content Providers". *Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society*.
- [SCHA06] Schwaninger M. (2006). "System dynamics and the evolution of the systems movement". *Systems Research and Behavioral Science*, No. 23, pp. 583-594.
- [SCHI05] Schillewaert N., Ahearne M.J., Frambach R.T., Moenaert R.K. (2005). "The adoption of information technology in the sales force". *Industrial Marketing Management*, 34, pp. 323-336.
- [SCHO81] Scholl R. (1981). "Differentiating organizational commitment from expectancy as motivating force". *Academy of Management Review*, Vol. 6, No. 4, pp. 589-599. *Citado en REPE02*.
- [SCHÖ83] Schön D.A. (1983). "The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action". Basic Books, New York.

- [SCHR05] Schröeter M., Spengler T. (2005). "A System Dynamics Model for Strategic Management of Spare Parts in Closed-Loop Supply Chains". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [SCHW07] Schwarz A., Chin W. (2007). "Looking Forward: Toward an Understanding of the Nature and Definition of IT Acceptance". Journal of the Association for Information Systems, Vol. 8, No. 4, Article 13.
- [SCOT85] Scott, K.D., and Taylor, G.S. "An Examination of Conflicting Findings on the Relationship between Job-Satisfaction and Absenteeism: A Meta-analysis". Academy of Management Journal (28:3), 1985, pp.599-612.
- [SEDD94] Seddon P.B., Kiew M.Y. (1994). "A Partial Test and Development of the DeLone and McLean model of IS Success". Proceedings of the International Conference on Information Systems, (ICIS 94), pp. 99-110.
- [SEDD97] Seddon P.B. (1997). "A Respecification and Extension of the DeLone and McLean Model of IS Success". Information Systems Research, 8 (3), pp. 240-253.
- [SEDD02] Seddon P.B., Graeser V., Willcocks L.P. (2002). "Measuring organisational IS effectiveness: an overview and update of senior management perspectives". Database for Advances in Information Systems 33 (2), pp. 11-28.
- [SENG90] Senge P.M. (1990). "The Fifth Discipline". Century Business. London. *Edición en castellano: "La Quinta Disciplina". Ediciones Granica, Barcelona, 1999.*
- [SCHA01] Schaufeli W.B. et al. (2001). "On the clinical validity of the Maslach Burnout Inventory and the Burnout Measure". Psychology and Health, Vol. 16, pp. 565-582.
- [SHRI03] Shrivastava S., Shaw J.B. (2003). "Liberating HR through technology". Human Resource Management, Vol. 42 No.3, pp.201-222.

- [SIMO57] Simon H. (1957). "Models of Man". Wiley. New York.
- [SKAR03] Skartveit H.L., Goodnow K., Viste M. (2003). "Visualized System Dynamics Models as Information and Planning Tools". Informing Science + IT Education Conference Proceedings, pp. 1113-1128.
- [SNAB05] Snabe B. (2005). "Targeted Participative Modelling - Conceptual Discussion and Case Study Presentation". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [SOKO94] Sokol M. (1994). "Adaptation to difficult designs: Facilitating use of new technology". Journal of Business and Psychology, Vol. 8, No. 3, pp. 277-296.
- [SOLO87] Solow, R.M. (1987). "We'd better watch out". New York Review of Books, July 12, p. 36.
- [SPAN02] Spanos Y.E., Prastacos G.P., Poulymenakou A. (2002). "The relationship between information and communication technologies adoption and management". Information & Management, Vol. 39, No. 8, pp. 659-675.
- [STAV02] Stave K.A. (2002). "Using system dynamics to improve public participation in environmental decisions". System Dynamics Review 18 (2), pp. 139-167.
- [STAV03] Stave K.A. (2003). "A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada". Journal of Environmental Management 67, pp. 303-313.
- [STEE91] Steers R., Porter L. (1991). "Motivation and Work Behavior". McGraw Hill, New York. *Citado en REPE02.*
- [STEN01] Stenmark D. (2001). "Leveraging Tacit Organisational Knowledge". Journal of Management Information Systems, Vol. 17, No. 3, pp. 9-24.

- [STEN02] Stenmark D. (2002). "Information vs. Knowledge: The Role of intranets in Knowledge Management". Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-10.
- [STER84] Sterman J.D. (1984). "Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit of Systems Dynamics Models". *Dynamica*, Vol. 10, pp. 51-66.
- [STER94] Sterman J.D. (1994). "Learning in and about complex systems". *System Dynamics Review*, Vol. 10, pp. 291-330.
- [STER00] Sterman J.D. (2000). "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World". Irwin/McGraw-Hill, Boston.
- [STER03] Sterling J. (2003). "Translating strategy into effective implementation: Dispelling the myths and highlighting what works". *Strategy & Leadership*, 31, pp. 27-37.
- [STER07] Sterman, J.D. (2007). "Exploring the next great frontier: system dynamics at fifty". *System Dynamics Review*, Vol. 23, No. 2-3, pp. 89-93.
- [SVEI01] Sveiby K.E. (2001). "A knowledge-based theory of the firm to guide in strategy formulation". *Journal of Intellectual Capital*, Vol. 2, No. 4, pp. 344-359.
- [SVEI05] Sveiby K.E., Linard K., Dvorsky L. (2005). "Building a Knowledge-Based Strategy. A System Dynamics Model for Allocating Value Adding Capacity". Proceedings of the 23rd International Conference of the System Dynamics Society.
- [TEAR03] Tearle P. (2003). "ICT implementation: What makes the difference?". *British Journal of Educational Technology*, Vol. 34, pp. 567-584.
- [THOR11] Thorndike E. (1911). "Animal Intelligence: Experimental Studies". Ed. Macmillan, New York. *Citado en REPE02*.

- [TRIP99] Triplett J.E. (1999). "The Solow productivity paradox: what do computers do to productivity?". *Canadian Journal of Economics*, Vol. 32, No. 2, pp. 309-334.
- [TSON92] Tsonis A.A. (1992). "Chaos. From theory to applications". Plenum Press, New York.
- [TUYA07] Tuya J., Ramos I., Dolado J.J. (2007). "Técnicas cuantitativas para la gestión en la ingeniería del software, Ed. Netbiblo.
- [TYRE93] Tyre M.J., Orlikowski W.J. (1993). "Exploiting opportunities for technological improvement in organizations". *Sloan Management Review*, Vol. 3, pp. 13-25.
- [TYRE94] Tyre M.J., Orlikowski W.J. (1994). "Windows of opportunity: temporal patterns of technological adaptation in organizations". *Organization Science*, Vol. 5, No. 1, pp. 98-118.
- [UMBL02] Umble E., Umble M. (2002). "Avoiding ERP implementation failure". *Industrial Management*, Vol. 44, pp. 25-35.
- [VAID07] Vaidya K. (2007). "Applying the DeLone & McLean Information Systems Success Model to Measure Public eProcurement Success". *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Collaborative Electronic Commerce Technology and Research, COLLECTeR 2007*.
- [VAND01] Van Damme D. (2001). "Quality issues in the internationalisation of higher education". *Higher Education*, 41, Kluwer Academic Publishers, pp. 415-441.
- [VENK99] Venkatesh V., Speier C. (1999). "Computer technology training in the workplace: A longitudinal investigation of the effect of mood". *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, Vol. 79, pp. 1-28.
- [VENK00a] Venkatesh V., Davis F.D. (2000). "A theoretical extension of the technology acceptance model: four longitudinal field studies". *Management Science*, Vol. 46, No. 2, pp. 186-204.

- [VENK00b] Venkatesh V., Morris M.G. (2000). "Why do not men ever stop to ask for directions? Gender, Social influence and their role in technology acceptance and usage behavior". *MIS Quarterly* 24 (1), pp. 115-139.
- [VENK03] Venkatesh V., Morris M.G., Davis G.B., Davis, F.D. (2003). "User acceptance of information technology: Toward a unified view". *MIS Quarterly*, 27 (3), pp. 425-478.
- [VENK07] Venkatesh V., Davis F.D., Morris M.G. (2007). "Dead Or Alive? The Development, Trajectory And Future Of Technology Adoption Research". *Journal of the Association for Information Systems*, Vol. 8, No. 4, Article 10.
- [VENK08] Venkatesh V., Bala H. (2008). "Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions". *Decision Sciences*, Vol. 39, No. 2, pp. 273-315.
- [VENN95] Vennix J.A.M. (1995). "Building consensus in strategic decision making: system dynamics as a group support system". *Group Decision and Negotiation*, Vol. 4, No. 4, pp. 335-355.
- [VENN96] Vennix J.A.M. (1996). "Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics". Wiley, New York.
- [VENN99] Vennix J.A.M. (1999). "Group Model Building: tackling messy problems". *System Dynamics Review*, Vol. 15, No. 4, pp. 379-401.
- [VROO64] Vroom V.H. (1964). "Work and motivation". John Wiley and Sons, New York.
- [VROO70] Vroom V.H., Deci E.L. (1970), "Management and Motivation". Penguin Books. London.
- [WAGE02] Wäger P.A., Hilty L.M. (2002). "A Simulation System for Waste Management - From System Dynamics Modelling to Decision Support". *Proceedings of iEMSs 2002. Integrated Assessment and Decision Support*, pp. 174-179.

- [WAIN04] Wainwright J., Mulligan, M. (2004). “Environmental Modelling: Finding Simplicity in Complexity”. John Wiley & Sons.
- [WANG05] Wang W.T., Liu C.Y. (2005). “The Application of the Technology Acceptance Model: A New Way to Evaluate Information System Success”. Proceedings of the 23rd International System Dynamics Conference.
- [WANG07] Wang Y.S. (2007). “Assessing e-commerce systems success: a respecification and validation of the DeLone and McLean model of IS success”. *Information Systems Journal*, Vol. 18, pp. 529-557.
- [WANG08] Wang Y.S., Liao Y.W. (2008). “Assessing eGovernment systems success: A validation of the DeLone and McLean model of information systems success”. *Government Information Quarterly*, Vol. 25, pp. 717-733.
- [WARR99a] Warren K. (1999). “The Dynamics of Strategy”. *Business Strategy Review*, Vol. 10 No. 3, pp. 1-16.
- [WARR99b] Warren K., Langley P. (1999). “The effective communication of system dynamics to improve insight and learning in management education”. *Journal of the Operational Research Society* 50, pp. 396-404.
- [WARR00] Warren K. (2000). “The Softer Side of Strategy Dynamics”. *Business Strategy Review*, Vol. 11 No. 1, pp. 45-58.
- [WARR02] Warren K. (2002). “Competitive Strategy Dynamics”. John Wiley & Sons.
- [WARR08] Warren K. (2008). “Strategic Management Dynamics”. John Wiley & Sons.
- [WEBE13] Weber M. (1913). “Essais sur la théorie de la science”. Agora, Paris. *Citado en OUBR03*.

- [WEIN82] Weiner Y. (1982). "Commitment in organizations: A normative view". *Academy of Management Review*. 7(3), pp. 318-428. *Citado en REPE02*.
- [WILK07] Wilkins L., Holt D., Swatman P. (2007). "Through A Glass Darkly': Can Theoretical Models for Technology Adoption Add Value to Enterprise Wide System Implementations?". *Proceedings of the 10<sup>th</sup> Collaborative Electronic Commerce Technology and Research, COLLECTeR 2007*.
- [WIRS06] Wirsam J., Müller C. (2006). "Applicability and assessment of adoption and diffusion models: review of the models of Bass, Milling and Maier, Rogers and Frambach and Schillewaert". *International Journal of Enterprise Network Management*, Vol. 1, No.1, pp. 62-78.
- [WOLS90] Wolstenholme E.F. (1990). "System Enquiry. A System Dynamics Approach. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
- [WOOD98] Wood R., Bandura A. (1989). "Social cognitive theory of organizational management". *Academy of Management Review*, 14(3), pp. 361-383.
- [WU06] Wu J.H., Wang Y.M. (2006). "Measuring KMS success: A respecification of the DeLone and McLean's model". *Information & Management*, Vol. 43, pp. 728-739
- [YIM04] Yim N.H., Kim S.H., Kim H.W., Kwahk K.Y. (2004). "Knowledge based decision making on higher level strategic concerns: system dynamics approach". *Expert Systems with Applications* 27, pp. 143-158.
- [ZORN02] Zorn T.E. (2002). "The emotionality of ICT implementation". *Journal of Communication Management*, Vol. 7, pp. 160-171.

## **Anexo 1**

### **Variables del modelo**

<b>Acción</b>	Tipo: Parámetro. Unidades: <i>MaturUnits</i> . Aumento de la <b>Madurez Deseada</b> que se produce en cada pulso del <b>Impulso Externo</b> .
<b>Aprendizaje</b>	Tipo: Flujo. Unidades: <i>TechUnits/t</i> . Incremento del <b>Conocimiento TI</b> por unidad de tiempo.
<b>Coefficiente de Obsolescencia</b>	Tipo: Parámetro. Unidades: $1/t$ . Ritmo de depreciación del <b>Conocimiento TI</b> .
<b>Conocimiento TI</b>	Tipo: Nivel. Unidades: <i>TechUnits</i> . Nivel de competencias y habilidades en tecnologías de la información (TI) que poseen los individuos de una organización.
<b>Conocimiento TI Inicial</b>	Tipo: Exógena. Unidades: <i>TechUnits</i> . Valor inicial del <b>Conocimiento TI</b> .

**Crítica**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *adimensional*.

Sugerencias y reflexiones relativas a las nuevas tecnologías informáticas.

**Desmotivación**

Tipo: Flujo.

Unidades: *SatisfUnits/t*.

Decremento de la **satisfacción** por unidad de tiempo.

**Diferencia de Madurez**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *MaturUnits*.

Discrepancia entre la **Madurez Deseada** por la organización y la **Madurez** actual.

**Factores Higiénicos**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *SatisfUnits/t*.

Factores que producen insatisfacción reprimiendo las acciones motivadoras, por lo que disminuyen la **satisfacción** a través de la variable de flujo **Desmotivación**. En este caso son las variables auxiliares **Salto Tecnológico** y **Sobrecarga de Trabajo**.

**Factores Motivacionales**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *SatisfUnits/t*.

Factores motivadores siempre y cuando los factores higiénicos estén desactivados, por lo que aumentarán la **Satisfacción** a través de la variable de flujo **Motivación**. En este caso es la variable de nivel **Madurez**.

**filtro**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *adimensional*.

Función de control de la variable **Factores Higiénicos** sobre la variable **Factores Motivacionales**. El filtro está definido según la función:

$$f(x) = \begin{cases} 1 & , x \leq 0 \\ \frac{k}{x^2 + k} & , x > 0 \end{cases}$$

Donde  $x$  es la variable **Factores Higiénicos** y  $k$  es el parámetro  $k$ . De esta forma para valores no positivos de **Factores Higiénicos** el filtro, al valer 1, habilita la acción motivadora. Sin embargo, para valores positivos de **Factores Higiénicos** el filtro será cero (o valores cercanos a cero) inhibiendo la motivación.

**Formación**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits*.

Cantidad de actividad de capacitación en tecnologías informáticas a desarrollar.

**Implicación  
Personas**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *dimensional*.

Compromiso de las personas con el sistema debido al aumento de autoeficacia lo que comporta un mayor nivel de uso.

**Impulso Externo**

Tipo: Exógena.

Unidades:  $1/t$ .

Frecuencia con que los líderes introducen nuevos sistemas informáticos con gran impacto organizacional.

**Inicio Pulsos**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Instante en que se produce el primer pulso del tren de pulsos del **Impulso Externo**.

**k**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *SatisfUnits<sup>2</sup>/t<sup>2</sup>*.

Parámetro de control de la función **filtro**. Para valores pequeños la función decrecerá de manera más pronunciada, será más cóncava; mientras que para valores mayores la pendiente se suaviza, aumentando dicha ventana de actividad de los factores motivacionales.

<b>Madurez</b>	Tipo: Nivel.  Unidades: <i>MaturUnits</i> .  Grado de adopción y uso a nivel organizacional del nuevo sistema informático implementado para la gestión estratégica.
<b>Madurez Deseada</b>	Tipo: Nivel.  Unidades: <i>MaturUnits</i> .  Grado de adopción y uso del nuevo sistema que la organización quiere conseguir.
<b>Madurez Inicial</b>	Tipo: Exógena.  Unidades: <i>MaturUnits</i> .  Valor inicial de las variables de nivel <b>Madurez</b> y <b>Madurez Deseada</b> .
<b>Mito Tecnológico</b>	Tipo: Auxiliar.  Unidades: <i>TechUnits</i> .  Nivel de idealización del potencial de las tecnologías informáticas como elemento clave para alcanzar los objetivos estratégicos de la organización.
<b>Motivación</b>	Tipo: Flujo.  Unidades: <i>SatisfUnits/t</i> .  Incremento de la <b>satisfacción</b> por unidad de

tiempo.

**Necesidad  
Percibida de  
Formación**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits*.

Percepción por parte de los líderes de la magnitud del **salto Tecnológico**, dado que estos se mueven el plano de la teoría expuesta y están condicionados por su visión apriorística de cuáles son las necesidades tecnológicas de las personas de la organización.

**Nivel TI Deseado**

Tipo: Exógena.

Unidades: *TechUnits*.

Nivel de conocimientos en tecnologías informáticas que la organización entiende que los individuos deben poseer.

**Obsolescencia**

Tipo: Flujo.

Unidades: *TechUnits/t*.

Pérdida de **Conocimiento TI** por unidad de tiempo.

**Periodo**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *t*.

Intervalo entre las repeticiones sucesivas del tren de pulsos del **Impulso Externo**.

**Peso Higiénico**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits/t.*

Variable de control del modelo para regular la importancia relativa de los **Factores Higiénicos** sobre la **Satisfacción**.

**Peso  
Motivacional**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits/t.*

Variable de control del modelo para regular la importancia relativa de los **Factores Motivacionales** sobre la **Satisfacción**.

**Salto  
Tecnológico**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits.*

Diferencia entre el **Nivel TI Deseado** y el **Conocimiento TI**.

**Satisfacción**

Tipo: Nivel.

Unidades: *SatisfUnits.*

Grado de confianza que genera el sistema en las personas de una organización.

**Satisfacción  
Inicial**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *SatisfUnits.*

Valor inicial de la variable de nivel **Satisfacción**.

**Sobrecarga de Trabajo**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *MaturUnits/t*.

Aumento coyuntural de trabajo y de realización de nuevas actividades necesario para aumentar el nivel **Madurez**.

**Tasa de Aprendizaje**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *adimensional*.

Facilidad de aprendizaje de las personas durante el proceso de adiestramiento.

**Tasa de Crítica**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *1/TechUnits*.

Proporción de la capacidad de **Aprendizaje** por unidad de **Mito Tecnológico**.

**Tasa de Desánimo por Burnout**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *SatisfUnits\*t/MaturUnits*.

Insatisfacción generada en función del valor del síndrome del *burnout* originado por la **sobrecarga de Trabajo**.

**Tasa de Desánimo por Ignorancia**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *SatisfUnits/TechUnits*.

Carga desmotivadora que origina el **salto**

**Tecnológico sobre la Satisfacción.**

**Tasa de Fatiga**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *adimensional*.

Cantidad de cansancio que se produce por unidad de aumento de trabajo extra (**Variación de Madurez**).

**Tasa de  
Implicación por  
Satisfacción**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *1/SatisfUnits*.

Grado de influencia del sentido de autoeficacia y confianza debido a la **Satisfacción**.

**Tasa de  
Motivación por  
Madurez**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *SatisfUnits/MaturUnits*.

Grado de motivación que se produce por unidad de **Madurez**.

**Tasa de  
Necesidad TI**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *TechUnits/MaturUnits*.

Percepción apriorística por parte de la organización de la cantidad **Conocimiento TI** que las personas necesitan adquirir para aumentar un *MaturUnit* la **Madurez** del nuevo sistema de gestión.

**Tasa de  
Obsolescencia**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $1/t$ .

Ritmo con que pierde valor o se olvida una unidad del **Conocimiento TI**.

**Tasa de Paranoia**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $1/SatisfUnits$ .

Nivel de sensibilidad de los individuos ante la influencia del **Mito Tecnológico** en función de su autoestima. Representa la susceptibilidad de las personas ante la presión del elogio de las tecnologías informáticas.

**Tasa de Reajuste  
de Madurez**

Tipo: Parámetro.

Unidades: *adimensional*.

Capacidad de maduración del sistema ante un estímulo de crecimiento.

**Tiempo de  
Adiestramiento**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Retardo o tiempo que se necesita para que se produzca un aumento de una unidad de **Conocimiento TI**, un *TechUnit*, desde que comienza el proceso de **Formación**. Es un indicador de la capacidad de aprendizaje de las personas, de forma que las más perspicaces necesitarán un tiempo menor y viceversa.

**Tiempo de  
Desánimo por  
Burnout**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Tiempo que tarda en hacer mella la desmotivación debido al síndrome del *burnout* originado por la **Sobrecarga de Trabajo**.

**Tiempo de  
Desánimo por  
Ignorancia**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Tiempo que tarda en aparecer los efectos negativos sobre la **Satisfacción** debido a un aumento del **Salto Tecnológico**.

**Tiempo de  
Motivación por  
Madurez**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Tiempo que se tarda en activarse la motivación debido a un aumento de la **Madurez**.

**Tiempo de  
Preparación de  
la Formación**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Retardo desde que aparece (o desaparece) la **Necesidad Percibida de Formación** hasta que se organiza (o cesa) el proceso de **Formación**.

**Tiempo de  
Reacción**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Retardo existente desde que se activa (o desactiva) el

**Mito Tecnológico** hasta que las personas reaccionan y limitan (activan) la crítica.

**Tiempo de  
Reajuste de  
Madurez**

Tipo: Parámetro.

Unidades:  $t$ .

Tiempo que tarda en aumentar la **Madurez** una unidad de madurez, un *MaturUnit*.

**Umbral de  
Percepción**

Tipo: Auxiliar.

Unidades: *TechUnits/MaturUnits*.

Porcentaje con respecto a la **Acción del Impulso Externo** por debajo del cual los líderes no perciben la necesidad de promover un proceso de **Formación**.

Es un indicador de la distancia existente entre el plano de la teoría expuesta (donde los líderes de la organización promueven una actitud positiva hacia las tecnologías de la información) y el plano de la teoría en uso (donde las personas de la organización idealizan la tecnología por miedo a parecer ignorantes creando una rutina organizacional defensiva que impide el aprendizaje): a mayor valor, mayor distancia y mayor miopía.

**Variación  
Impulso**

Tipo: Flujo.

Unidades: *MaturUnits/t*.

Velocidad de cambio del nivel **Madurez Deseada** en función del **Impulso Externo** y de la **Acción** de maduración.

**Variación de  
Madurez**

Tipo: Flujo.

Unidades: *MaturUnits/t*.

Evolución en el tiempo de la acción correctora sobre la variable de nivel **Madurez**.

## **Anexo 2**

### **Ecuaciones del modelo**

En este anexo se recoge el escenario base, fruto de la integración de los tres sectores estudiados en los capítulos 6, 7 y 8 (Sector de la Madurez organizacional, Sector de la Satisfacción de las personas y el Sector del Conocimiento en Tecnologías de la Información) y del ajuste de los parámetros correspondientes de forma que las interfaces entre los tres sectores estén sintonizadas (ver apartado 9.1.2).

A continuación se muestra el conjunto completo de ecuaciones del modelo que proporciona el software de modelado y simulación Vensim® y cuyo fichero se puede obtener en <http://www.ehu.es/i.morlan/tesis>.

- (01) Acción=  
     100  
 Units: MaturUnits [0,500,10]  
 [Eq. 6-13]
- (02) Aprendizaje=  
     Tasa de Aprendizaje\*((Formación/Tiempo de  
     Adiestramiento)\*Crítica)  
 Units: TechUnits/Month  
 [Eq. 8-4]
- (03) Conocimiento TI= INTEG(Aprendizaje-Obsolescencia,  
     Conocimiento TI Inicial)  
 Units: TechUnits  
 [Eq. 8-3]
- (04) Conocimiento TI Inicial=  
     300  
 Units: TechUnits [0,1000,1]  
 [Eq. 8-17]
- (05) Crítica=  
     SMOOTH((1-(Mito Tecnológico/100))\*Tasa de Crítica,  
     Tiempo de Reacción)  
 Units: Dmnl  
 [Eq. 8-14]
- (06) Desmotivación=  
     Factores Higiénicos  
 Units: SatisfUnits/Month  
 [Eq. 7-7]
- (07) Diferencia de Madurez=  
     Madurez Deseada-Madurez  
 Units: MaturUnits  
 [Eq. 6-3]

- (08) Factores Higiénicos=  
Peso Higiénico\*(((Sobrecarga de Trabajo/Tiempo de  
Desánimo por Burnout)  
\*Tasa de Desánimo por Burnout)+((Salto  
Tecnológico/Tiempo de Desánimo por Ignorancia  
) \*Tasa de Desánimo por Ignorancia))  
Units: SatisfUnits/Month  
[Eq. 7-8]
- (09) Factores Motivacionales=  
Peso Motivacional\*((Madurez/Tiempo de Motivación  
por Madurez)\*Tasa de Motivación por Madurez)  
Units: SatisfUnits/Month  
[Eq. 7-9]
- (10) filtro=  
IF THEN ELSE(Factores Higiénicos>0,  
k/((Factores Higiénicos^2)+k), 1)  
Units: Dmnl  
[Eq. 7-10]
- (11) FINAL TIME = 180  
Units: Month  
The final time for the simulation.
- (12) Formación=  
SMOOTH( Necesidad Percibida de Formación, Tiempo de  
Preparación de la Formación)  
Units: TechUnits  
[Eq. 8-10]
- (13) Implicación Personas=  
(Satisfacción/1000)\*Tasa de Implicación por  
Satisfacción  
Units: Dmnl  
[Eq. 6-4]
- (14) Impulso Externo=  
PULSE TRAIN(Inicio Pulsos, 1, Periodo, FINAL TIME)  
Units: 1/Month  
[Eq. 6-6]
- (15) Inicio Pulsos=  
40  
Units: Month [0,100,1]  
[Eq. 6-10]
- (16) INITIAL TIME = 0  
Units: Month  
The initial time for the simulation.

- (17)  $k =$   
         0.125  
 Units: SatisfUnits\*SatisfUnits/(Month\*Month)  
 [0.0625,10,0.0625]  
 [Eq. 7-30]
- (18) Madurez= INTEG( Variación de Madurez, Madurez Inicial)  
 Units: MaturUnits [0,1000,1]  
 [Eq. 6-2]
- (19) Madurez Deseada= INTEG(Variación Impulso,  
         Madurez Inicial)  
 Units: MaturUnits  
 [Eq. 6-7]
- (20) Madurez Inicial=  
         300  
 Units: MaturUnits [0,1000,1]  
 [Eq. 6-14]
- (21) Mito Tecnológico=  
         Necesidad Percibida de Formación\*  
         Tasa de Paranoia\*(0.5 -(Satisfacción/2000))  
 Units: TechUnits  
 [Eq. 8-11]
- (22) Motivación=  
         Factores Motivacionales\*filtro  
 Units: SatisfUnits/Month  
 [Eq. 7-6]
- (23) Necesidad Percibida de Formación=  
         IF THEN ELSE(  
         Salto Tecnológico>(Acción\*Umbral de Percepción),  
         Acción, 0)  
         \*Tasa de Necesidad TI  
 Units: TechUnits  
 [Eq. 8-8]
- (24) Nivel TI Deseado=  
         Madurez Deseada\*Tasa de Necesidad TI  
 Units: TechUnits  
 [Eq. 8-6]
- (25) Obsolescencia=  
         (Conocimiento TI/1000)\*Tasa de Obsolescencia  
 Units: TechUnits/Month  
 [Eq. 8-5]

- (26) Periodo=  
60  
Units: Month [6,120,3]  
[Eq. 6-11]
- (27) Peso Higiénico=  
0.25  
Units: Dmnl [0,2,0.0625]  
[Eq. 9-1]
- (28) Peso Motivacional=  
0.0625  
Units: Dmnl [0,2,0.0625]  
[Eq. 9-2]
- (29) Salto Tecnológico=  
MAX(Nivel TI Deseado-Conocimiento TI,0)  
Units: TechUnits  
[Eq. 8-7]
- (30) Satisfacción= INTEG(Motivación-Desmotivación,  
Satisfacción Inicial)  
Units: SatisfUnits [-1000,1000]  
[Eq. 7-4]
- (31) Satisfacción Inicial=  
300  
Units: SatisfUnits [0,1000,1]  
[Eq. 7-22]
- (32) SAVEPER = TIME STEP  
Units: Month [0,?]  
The frequency with which output is stored.
- (33) Sobrecarga de Trabajo=  
MAX(Variación de Madurez\*Tasa de Fatiga, 0)  
Units: MaturUnits/Month  
[Eq. 6-9]
- (34) Tasa de Aprendizaje=  
1  
Units: Dmnl [0,2,0.0625]  
[Eq. 8-21]
- (35) Tasa de Crítica=  
0.5  
Units: 1/TechUnits [0,2,0.0625]  
[Eq. 8-26]

- (36) Tasa de Desánimo por Burnout=  
0.125  
Units: SatisfUnits\*Month/MaturUnits [0,2,0.0625]  
[Eq. 7-16]
- (37) Tasa de Desánimo por Ignorancia=  
0.125  
Units: SatisfUnits/TechUnits [0,5,0.0625]  
[Eq. 7-17]
- (38) Tasa de Fatiga=  
4  
Units: Dmnl [0,7,0.0625]  
[Eq. 6-19]
- (39) Tasa de Implicación por Satisfacción=  
2  
Units: 1/SatisfUnits [0,10,0.125]  
[Eq. 6-16]
- (40) Tasa de Motivación por Madurez=  
0.0625  
Units: SatisfUnits/MaturUnits [0,2,0.03125]  
[Eq. 7-31]
- (41) Tasa de Necesidad TI=  
1  
Units: TechUnits/MaturUnits [0,2,0.125]  
[Eq. 8-24]
- (42) Tasa de Obsolescencia=  
0.0625  
Units: 1/Month [0,1,0.03125]  
[Eq. 9-3]
- (43) Tasa de Paranoia=  
1  
Units: 1/SatisfUnits [0,3,0.125]  
[Eq. 8-25]
- (44) Tasa de Reajuste de Madurez=  
1  
Units: Dmnl [0,5,0.125]  
[Eq. 6-17]
- (45) Tiempo de Adiestramiento=  
2.25  
Units: Month [0.25,12,0.25]  
[Eq. 8-37]

- (46) Tiempo de Desánimo por Burnout=  
2  
Units: Month [0.25,12,0.25]  
[Eq. 7-19]
- (47) Tiempo de Desánimo por Ignorancia=  
2  
Units: Month [0.25,18,0.25]  
[Eq. 7-20]
- (48) Tiempo de Motivación por Madurez=  
4  
Units: Month [1,12,0.25]  
[Eq. 7-32]
- (49) Tiempo de Preparación de la Formación=  
2  
Units: Month [0.25,12,0.25]  
[Eq. 8-38]
- (50) Tiempo de Reacción=  
3  
Units: Month [0.25,12,0.25]  
[Eq. 8-27]
- (51) Tiempo de Reajuste de Madurez=  
3  
Units: Month [0,12,0.25]  
[Eq. 6-18]
- (52) TIME STEP = 1  
Units: Month [0,?]  
The time step for the simulation.
- (53) Umbral de Percepción=  
0.375  
Units: TechUnits/MaturUnits [0,1,0.015625]  
[Eq. 8-34]
- (54) Variación de Madurez=  
(Diferencia de Madurez\*  
Tasa de Reajuste de Madurez/  
Tiempo de Reajuste de Madurez)\*Implicación Personas  
Units: MaturUnits/Month  
[Eq. 6-5]
- (55) Variación Impulso=  
Acción\*Impulso Externo  
Units: MaturUnits/Month  
[Eq. 6-8]



## **Anexo 3**

### **Índice de Figuras**

<i>Figura 1. Las disciplinas informáticas.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 2. Síntesis de la investigación.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 3. Existe un óptimo en el rendimiento (o comprensión) del modelo en relación a la complejidad del mismo.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 4. Flechas, relaciones causales o relaciones de influencia.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 5. Relación de influencia positiva.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura 6. Relación de influencia negativa.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 7. Respuestas explosiva [a] y depresiva [b] de los bucles de realimentación positiva.....</i>	<i>64</i>
<i>Figura 8. Ejemplo de bucle de realimentación positiva.....</i>	<i>65</i>
<i>Figura 9. Respuesta estabilizadora de los bucles de realimentación negativa.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 10. Ejemplo de bucle de realimentación negativa.....</i>	<i>66</i>
<i>Figura 11. Ejemplo de Diagrama Causal con dos bucles de realimentación integrados.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 12. Diagrama causal de la regulación de la temperatura de una ducha.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 13. Respuesta oscilante de la regulación de la temperatura de una ducha.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 14. Diagrama de Forrester elemental.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 15. Notación básica de los Diagramas de Forrester.....</i>	<i>70</i>
<i>Figura 16. Dos variables auxiliares unidas por un canal de información.....</i>	<i>71</i>
<i>Figura 17. Algoritmo de la acumulación del Nivel de la Figura 14.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 18. Estructura del algoritmo básico del motor de simulación de Dinámica de Sistemas.....</i>	<i>73</i>
<i>Figura 19. Visión del tiempo en el motor de simulación de Dinámica de Sistemas en el instante t.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 20. Algoritmo básico del motor de simulación de Dinámica de Sistemas.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 21. Jerarquía de validación del modelo.....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 22. Marco Persona-Implementación de Tracey Rizzuto.....</i>	<i>96</i>
<i>Figura 23. Modelos de innovación analizados.....</i>	<i>104</i>
<i>Figura 24. Resultados en cascada de la actividad de innovación.....</i>	<i>106</i>
<i>Figura 25. Diagrama de Forrester de la adopción de una idea o producto nuevo como una epidemia.....</i>	<i>110</i>
<i>Figura 26. Ejemplo de comportamiento del modelo logístico de difusión de un producto nuevo como una epidemia. Con <math>M=1000</math>, <math>c=0.375</math>, <math>i=1</math> y <math>N_0=30</math>....</i>	<i>112</i>
<i>Figura 27. Diagrama de Forrester del Modelo de Difusión de Bass.....</i>	<i>113</i>
<i>Figura 28. Ejemplo de comportamiento del Modelo Sistémico de Difusión de Bass. Con <math>M=1000</math>, <math>p=0.03125</math>, <math>q=0.25</math> y <math>N_0=0</math>.....</i>	<i>114</i>
<i>Figura 29. Elementos que influyen en el proceso de difusión de la innovación.....</i>	<i>116</i>
<i>Figura 30. Diagrama Causal del Modelo de Milling y Maier.....</i>	<i>117</i>
<i>Figura 31. Proceso de decisión del Modelo de Rogers.....</i>	<i>120</i>
<i>Figura 32. Curva de adopción de innovaciones de Rogers.....</i>	<i>122</i>
<i>Figura 33. Marco conceptual de la adopción de innovaciones a nivel organizacional.....</i>	<i>125</i>
<i>Figura 34. Marco conceptual de adopción de innovaciones a nivel individual en una organización.....</i>	<i>126</i>
<i>Figura 35. Bucle Refuerzo del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.....</i>	<i>128</i>
<i>Figura 36. Bucle Difusión del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.....</i>	<i>129</i>
<i>Figura 37. Bucle Presión Normativa del Modelo Dinámico de Implementación de Innovaciones de Repenning.....</i>	<i>130</i>

Figura 38. Modelo de Aceptación Tecnológica original.....	134
Figura 39. Núcleo del Modelo de Aceptación Tecnológica.....	135
Figura 40. Ampliación del Modelo de Aceptación Tecnológica, TAM2.....	136
Figura 41. Ampliación del Modelo de Aceptación de la Tecnología a entornos ERP.....	138
Figura 42. Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean original.....	140
Figura 43. Segunda versión del Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean.....	141
Figura 44. Diagrama Causal de la segunda versión del Modelo del Éxito de los Sistemas de Información de Delone y Mclean modificado.....	144
Figura 45. Los tres sectores del modelo.....	151
Figura 46. Variables clave del modelo.....	153
Figura 47. Diagrama Causal y los seis bucles de realimentación.....	156
Figura 48. Visión general del Diagrama de Forrester.....	157
Figura 49. Modo A. Modo de referencia de las variables Madurez e Impulso Externo.....	164
Figura 50. Bucles 1, 2 y 3 del Diagrama Causal.....	165
Figura 51. Bucle 1. Refuerzo de la Madurez por implicación de las personas.....	166
Figura 52 Bucle 2. Desmotivación por exceso de trabajo.....	168
Figura 53. Bucle 3. Reajuste de la Madurez.....	169
Figura 54. Conexión del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general.....	170
Figura 55. Núcleo del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez.....	171
Figura 56. Detalle del Subdiagrama de Forrester 1. De la Madurez.....	172
Figura 57. Madurez Deseada e Impulso Externo.....	174
Figura 58. Correspondencia entre Madurez Deseada e Impulso Externo mostrada en la Figura 57.....	175
Figura 59. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49).....	176
Figura 60. Simulación del comportamiento de la Sobrecarga de Trabajo para cuatro diferentes valores de la Tasa de Fatiga: 2, 3, 4 y 5.....	177
Figura 61. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en relación a la Tasa de Implicación por Satisfacción con un valor estimado de 2 (1/SatisfUnits) en el rango {1.5, 2.5}.....	179
Figura 62. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Implicación por Satisfacción con un valor estimado de 2 (1/SatisfUnits) en el rango {1.5, 2.5}.....	179
Figura 63. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 1 (adimensional) en el rango {0.75, 1.25}.....	180
Figura 64. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (Month) en el rango {2.25, 3.75}.....	180
Figura 65. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (Month) en el rango {1.5, 4.5}.....	181
Figura 66. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 1 (adimensional) en el rango {0.5, 1.5}.....	181

<i>Figura 67. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en relación a la Tasa de Reajuste de Madurez y al Tiempo de Reajuste de Madurez con sendos rangos de valores del 25%.....</i>	182
<i>Figura 68. Modo B. Modo de referencia de las variables Madurez y Satisfacción. ....</i>	196
<i>Figura 69. Modo C. Modo de referencia de la variable Satisfacción.....</i>	196
<i>Figura 70. Influencia de los bucles 1, 2 y 6 sobre la variable Satisfacción.....</i>	197
<i>Figura 71. Conexión del Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general. ....</i>	199
<i>Figura 72. Estructura del filtrado de los factores motivacionales por los factores higiénicos.....</i>	200
<i>Figura 73. Función de filtro de los factores motivacionales. ....</i>	200
<i>Figura 74. Detalle del Subdiagrama de Forrester 2. De la Satisfacción.....</i>	201
<i>Figura 75. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68). ....</i>	204
<i>Figura 76. Valores del Peso Motivacional y del Peso Higiénico para la validación del modo de referencia Modo C (Figura 69).....</i>	205
<i>Figura 77. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69).....</i>	206
<i>Figura 78. Valores del factor motivacional Madurez y de los factores higiénicos Sobrecarga de Trabajo y Salto Tecnológico para el análisis de sensibilidad del Subdiagrama 2.....</i>	207
<i>Figura 79. Respuesta de la variable de nivel Satisfacción y de las variables de flujo Motivación y Desmotivación en función de las variables externas de la Figura 78.....</i>	208
<i>Figura 80. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Higiénico con un valor estimado de 0.125 (adimensional) en el rango {0.0625, 0.1875}.....</i>	209
<i>Figura 81. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Motivacional con un valor estimado de 0.125 (adimensional) en el rango {0.0625, 0.1875}.....</i>	210
<i>Figura 82. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Motivación por Madurez con un valor estimado de 3 Month en el rango {2, 6}.....</i>	210
<i>Figura 83. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Desánimo por Burnout con un valor estimado de 2 Month en el rango {1.5, 2.5}.....</i>	211
<i>Figura 84. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Tiempo de Desánimo por Ignorancia con un valor estimado de 2 Month en el rango {1.5, 2.5}.....</i>	211
<i>Figura 85. Los dos bucles actúan en dos planos organizacionales diferentes. ....</i>	220
<i>Figura 86. Modo D. Modo de referencia de las variables Conocimiento TI,.....</i>	221
<i>Figura 87. Modo E. Modo de referencia de las variables Conocimiento TI y Mito Tecnológico. ....</i>	222
<i>Figura 88. Modo F. Modo de referencia de las variables Salto Tecnológico, Satisfacción y Mito Tecnológico.....</i>	223
<i>Figura 89. Bucles 4, 5 y 6 del Diagrama Causal.....</i>	223
<i>Figura 90. Bucle 4. Reducción del Salto Tecnológico por Formación.....</i>	224
<i>Figura 91. Bucle 5. Elogio de la tecnología. ....</i>	227
<i>Figura 92. Bucle 6. Aumento del Mito Tecnológico por insatisfacción.....</i>	229
<i>Figura 93. Conexión del Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI con el resto de subdiagramas que componen el Diagrama de Forrester general. ....</i>	230
<i>Figura 94. Detalle del Subdiagrama de Forrester 3. Del Conocimiento TI.....</i>	232

<i>Figura 95. Percepción de la necesidad de formación en el plano de la teoría expuesta.....</i>	<i>234</i>
<i>Figura 96. Relación inversa entre la Satisfacción y el Mito Tecnológico.....</i>	<i>236</i>
<i>Figura 97. Relación inversa entre el Mito Tecnológico y la Crítica.....</i>	<i>237</i>
<i>Figura 98. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86).....</i>	<i>240</i>
<i>Figura 99. Comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación en las condiciones que verifican el modo de referencia Modo D (Figura 86).....</i>	<i>240</i>
<i>Figura 100. Comportamiento del Conocimiento TI en función de distintos valores del parámetro Umbral de Percepción.....</i>	<i>241</i>
<i>Figura 101. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87).....</i>	<i>242</i>
<i>Figura 102. Variación del comportamiento de las curvas de aprendizaje asociadas al modo de referencia Modo E (Figura 87) en dos condiciones diferentes: (1) sin tener en cuenta el Mito Tecnológico y (2) considerando su influencia.....</i>	<i>243</i>
<i>Figura 103. Respuesta de las variables Salto Tecnológico y Necesidad Percibida de Formación, sin y con Mito Tecnológico, correspondientes al modo de referencia Modo E (Figura 87).....</i>	<i>243</i>
<i>Figura 104. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88).....</i>	<i>245</i>
<i>Figura 105. Acción de la variable Necesidad Percibida de Formación en relación al comportamiento asociado al modo de referencia Modo F (Figura 88).....</i>	<i>246</i>
<i>Figura 106. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en relación a la Tasa de Obsolescencia con un valor estimado de 0.125 1/Month en el rango {0, 0.25}.....</i>	<i>247</i>
<i>Figura 107. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.75 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.625, 0.875}.....</i>	<i>248</i>
<i>Figura 108. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.75 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.625, 0.875}.....</i>	<i>248</i>
<i>Figura 109. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 Month en el rango {2.84375, 3.15625}.....</i>	<i>249</i>
<i>Figura 110. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 Month en el rango {2.5, 3.5}.....</i>	<i>249</i>
<i>Figura 111. La velocidad de Aprendizaje se modera según aumenta el Tiempo de Adiestramiento.....</i>	<i>250</i>
<i>Figura 112. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 3 Month en el rango {0.25, 3}.....</i>	<i>250</i>
<i>Figura 113. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Preparación de la Formación con un valor estimado de 3 Month en el rango {1.5, 4.5}.....</i>	<i>251</i>
<i>Figura 114. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Tiempo de Reacción con un valor estimado de 3 Month en el rango {1, 5}.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 115. Gráfico del análisis de sensibilidad del Aprendizaje en relación al Tiempo de Reacción en el rango {0.5, 1}.....</i>	<i>252</i>
<i>Figura 116. Gráfico del análisis de sensibilidad del Aprendizaje en relación a la Tasa de Crítica con un valor estimado de 0.5 1/TechUnits en el rango {0.4375, 0.5625}.....</i>	<i>253</i>

<i>Figura 117. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de 1 I/SatisfUnits en el rango {0.875, 1.125}.</i>	254
<i>Figura 118. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de 1 I/SatisfUnits en el rango {0, 2}.</i>	254
<i>Figura 119. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación a la Tasa de Paranoia con un valor estimado de 1 I/SatisfUnits en el rango {2, 4}.</i>	255
<i>Figura 120. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.5 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.5, 0.75}.</i>	256
<i>Figura 121. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en relación al Umbral de Percepción con un valor estimado de 0.5 TechUnits/MaturUnits en el rango {0.375, 0.484375}.</i>	256
<i>Figura 122. Comportamiento del Conocimiento TI en distintos escenarios y con diferentes valores del parámetro Umbral de Percepción.</i>	258
<i>Figura 123. Comportamiento del Conocimiento TI para diferentes valores del Tiempo de Preparación de la Formación y del Tiempo de Adiestramiento, respectivamente.</i>	259
<i>Figura 124. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Tiempo de Adiestramiento con un valor estimado de 2.25 Month en el rango {2.125, 2.375}.</i>	260
<i>Figura 125. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Tiempo de Preparación de la Formación entorno a 2 Month en el rango {1.5, 2.5}.</i>	260
<i>Figura 126. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación a la Tasa de Paranoia entorno al rango {0.875, 1.125}.</i>	261
<i>Figura 127. Análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el Subdiagrama 3 en relación al Umbral de Percepción entorno al rango {0.28125, 0.46875}.</i>	261
<i>Figura 128. Diagrama de Forrester integrado.</i>	265
<i>Figura 129. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	270
<i>Figura 130. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	271
<i>Figura 131. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	271
<i>Figura 132. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	272
<i>Figura 133. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	272
<i>Figura 134. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) según los valores reseñados en el apartado 9.1.1.4.</i>	273
<i>Figura 135. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) según los valores del apartado 9.1.1.4, al que se añadido el comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación.</i>	273
<i>Figura 136. Validación del modo de referencia Modo A (Figura 49) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.</i>	274
<i>Figura 137. Validación del modo de referencia Modo B (Figura 68) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.</i>	275

Figura 138. Validación del modo de referencia Modo C (Figura 69) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.....	275
Figura 139. Validación del modo de referencia Modo D (Figura 86) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.....	276
Figura 140. Validación del modo de referencia Modo E (Figura 87) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.....	276
Figura 141. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) con el modelo integrado mostrado en el Anexo 2.....	277
Figura 142. Validación del modo de referencia Modo F (Figura 88) con el modelo integrado al que se añadió el comportamiento de la variable Necesidad Percibida de Formación.....	277
Figura 143. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Higiénico con un valor estimado de 0.25 (adimensional) en el rango {0.1875, 0.3125}.....	281
Figura 144. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en relación al Peso Motivacional con un valor estimado de 0.0625 (adimensional) en el rango {0.046875, 0.078125}. .....	281
Figura 145. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia. ....	282
Figura 146. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia.....	282
Figura 147. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia. ....	283
Figura 148. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Peso Higiénico y a la Tasa de Paranoia. ....	283
Figura 149. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste de Madurez con un valor estimado de 3 (Month) en el rango {2.25, 3.75}. .....	284
Figura 150. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango {2.25, 3.75}. .....	285
Figura 151. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Variación de Madurez en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango {1.5, 4.5}.....	285
Figura 152. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Tiempo de Reajuste en el rango {2.25, 3.75}. .....	286
Figura 153. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.28125, 0.46875}.....	287
Figura 154. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.28125, 0.46875}.....	287
Figura 155. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.25, 0.5}. .....	288
Figura 156. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.25, 0.5}. .....	288
Figura 157. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación al Umbral de Percepción en el rango {0.25, 0.5}.....	289

<i>Figura 158. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {0.875, 1.125}.....</i>	<i>289</i>
<i>Figura 159. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {0, 2}.....</i>	<i>290</i>
<i>Figura 160. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.....</i>	<i>290</i>
<i>Figura 161. Gráfico del análisis de sensibilidad del Conocimiento TI en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.....</i>	<i>291</i>
<i>Figura 162. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Satisfacción en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.....</i>	<i>291</i>
<i>Figura 163. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Madurez en el modelo integrado en relación a la Tasa de Paranoia en el rango {2, 3}.....</i>	<i>292</i>
<i>Figura 164. Gráfico del análisis de sensibilidad de la Conocimiento TI en el modelo integrado en relación al Tiempo de Adiestramiento en el rango {2.125, 2.375}.....</i>	<i>292</i>
<i>Figura 165. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Tiempo de Adiestramiento en el rango {2.125, 2.375}.....</i>	<i>293</i>
<i>Figura 166. Gráfico del análisis de sensibilidad del Salto Tecnológico en el modelo integrado en relación al Tiempo de Preparación de la Formación en el rango {1.5, 2.5}.....</i>	<i>293</i>
<i>Figura 167. Representación espacial de los seis escenarios. ....</i>	<i>299</i>
<i>Figura 168. Esquema del proceso de comparación de los seis escenarios.....</i>	<i>301</i>
<i>Figura 169. Comportamiento de la Satisfacción en los seis escenarios. ....</i>	<i>302</i>
<i>Figura 170. Comportamiento de la Motivación en los seis escenarios. ....</i>	<i>303</i>
<i>Figura 171. Comportamiento de la Desmotivación en los seis escenarios.....</i>	<i>303</i>
<i>Figura 172. Comportamiento de la Implicación Personas en los seis escenarios.....</i>	<i>304</i>
<i>Figura 173. Comportamiento de la Madurez en los seis escenarios. ....</i>	<i>305</i>
<i>Figura 174. Comportamiento de la Sobrecarga de Trabajo en los seis escenarios. ..</i>	<i>305</i>
<i>Figura 175. Comportamiento del Conocimiento TI en los seis escenarios.....</i>	<i>306</i>
<i>Figura 176. Comportamiento del Aprendizaje en los seis escenarios. ....</i>	<i>307</i>
<i>Figura 177. Comportamiento del Salto Tecnológico en los seis escenarios.....</i>	<i>308</i>
<i>Figura 178. Comportamiento del Mito Tecnológico en los seis escenarios. ....</i>	<i>308</i>
<i>Figura 179. Comportamiento de la Crítica en los seis escenarios. ....</i>	<i>309</i>
<i>Figura 180. Comportamiento de la Necesidad Percibida de Formación en los seis escenarios. ....</i>	<i>310</i>
<i>Figura 181. Comportamiento de la Formación en los seis escenarios.....</i>	<i>310</i>
<i>Figura 182. Respuesta general del escenario “Recelo” en el intervalo [90, 130].....</i>	<i>312</i>
<i>Figura 183. Umbral de Percepción en el escenario “Recelo” en el intervalo [90, 130].....</i>	<i>312</i>
<i>Figura 184. Detalle del escenario “Recelo” en el intervalo [90, 130]. ....</i>	<i>313</i>



*“I have imagined this moment for a long time. Is it real?”*

*-Morpheus en “The Matrix Revolutions”-*