

# El aprendizaje en los sistemas regionales de innovación

desde la perspectiva  
de la modelación basado en agentes

Santiago Quintero Ramírez  
Diana Patricia Giraldo Ramírez



Universidad  
Pontificia  
Bolivariana



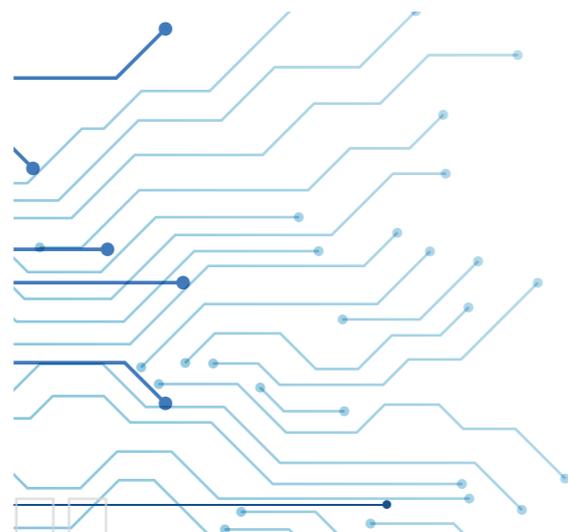
## Santiago Quintero Ramírez

Es Ingeniero de Alimentos, MSc y PhD en Ingeniería Industria y Organizaciones de la Universidad Nacional de Colombia. Actualmente se desempeña como Profesor Titular de los programas de Ingeniería Industrial, Administrativa y los Posgrados de Gestión Tecnológica de la Escuela de Ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana. Ha sido par evaluador de los proyectos del programa de transformación productiva "PTP" del Ministerio de Industria y Comercio y Colciencias. Actualmente es miembro activo del comité asesor en Política de CTel para Colombia y el CONACYT de México. Se ha desempeñado como director de departamentos de I+D y calidad y ha sido asesor-consultor en el sector público y privado en empresas de servicios. Actualmente lidera la Línea de Investigación de Gestión de la I+D, asociada al Grupo de investigación de Gestión de la Tecnología y la Innovación de la Universidad Pontificia Bolivariana. Entre sus obras se cuentan libros y publicaciones entre las más recientes: "Learning in the regional innovation systems: An agent based model, (2017)", "Methodological proposal for the evaluation of the project portfolio: case study Oleaginosas Promisorias, (2017)", "Representation of unlearning in the innovation systems: A proposal from agent-based modeling, (2017)".



## Diana P. Giraldo Ramírez

Es Ingeniera Agroindustrial, Especialista en Gestión de la Innovación Tecnológica y Doctora en Ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2013). Actualmente se desempeña como Profesora Titular de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y los Posgrados en Gestión Tecnológica de la Escuela de Ingenierías de la Universidad Pontificia Bolivariana. Es la Coordinadora del Doctorado en Gestión de la Tecnología y la Innovación y la líder de la línea de Pensamiento Sistémico y Simulación del Grupo de Investigación Gestión de la Tecnología y la Innovación (GTI.UPB). Integrante del Foco Alimentación, Agua y Territorio-FAAT/UPB. Entre los intereses de investigación se encuentran los sistemas agroalimentarios, la seguridad alimentaria, la gestión de la ciencia y la tecnología, la modelación y simulación de fenómenos sociales complejos mediante la dinámica de sistemas y la simulación basada en agentes.



# El aprendizaje en los sistemas regionales de innovación desde la perspectiva de la modelación basada en agentes

Santiago Quintero Ramírez  
Diana Patricia Giraldo Ramírez



303.483  
Q7

Quintero Ramírez, Santiago, autor  
El aprendizaje en los sistemas regionales de innovación desde la perspectiva de la modelación basada en agentes / Santiago Quintero Ramírez y Diana Patricia Giraldo Ramírez – Medellín: UPB, 2018  
230 p.: 19 x 24 cm.  
ISBN: 978-958-764-615-3 / 978-958-764-616-0 (versión web)

1. Innovación – 2. Crecimiento económico – I. Giraldo Ramírez, Diana Patricia – II. Título

CO-MdUPB / spa / rda  
SCDD 21 / Cutter-Sanborn

© Santiago Quintero Ramírez  
© Diana Patricia Giraldo Ramírez  
© Editorial Universidad Pontificia Bolivariana  
Vigilada Mineducación

**El aprendizaje en los sistemas regionales de innovación desde la perspectiva de la modelación basada en agentes**

ISBN: 978-958-764-615-3  
ISBN: 978-958-764-616-0 (versión web)  
Primera edición, 2018  
Escuela de Ingenierías  
Facultad de Ingeniería Industrial  
CIDI. Grupo: Gestión de la Tecnología y la Innovación (GTI). Proyecto: Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: un análisis desde el marco evolutivo de la interacción entre agentes. Radicado: 767B-06/17-09

**Gran Canciller UPB y Arzobispo de Medellín:** Mons. Ricardo Tobón Restrepo  
**Rector General:** Pbro. Julio Jairo Ceballos Sepúlveda  
**Vicerrector Académico:** Álvaro Gómez Fernández  
**Decano de la Escuela de Ingenierías:** Roberto Carlos Hincapié Reyes  
**Directora de la facultad de Ingeniería Industrial y Administrativa:** Diana Rocío Roldán Medina  
**Editor:** Juan Carlos Rodas Montoya  
**Coordinación de Producción:** Ana Milena Gómez Correa  
**Diagramación e Ilustración de Portada:** Sissi Tamayo Chavarriaga  
**Corrector de Estilo:** Natalia Uribe Angarita

**Dirección Editorial:**  
Editorial Universidad Pontificia Bolivariana, 2019  
E-mail: editorial@upb.edu.co  
www.upb.edu.co  
Telefax: (57)(4) 354 4565  
A.A. 56006 - Medellín - Colombia

**Radicado:** 1708-07-05-18

Prohibida la reproducción total o parcial, en cualquier medio o para cualquier propósito, sin la autorización escrita de la Editorial Universidad Pontificia Bolivariana.

A ti, energía suprema, por permitirnos leer nuestro momento cuántico para nutrir y cultivar los dones para una mejor comprensión del cosmos, por guiarnos bajo tus leyes de la conservación familiar y espiritual con el fin de enriquecer nuestro ser y por habernos dado la fortaleza de luchar con perseverancia y tenacidad. A nuestros padres quienes nos han apoyado durante estos años con su amor incondicional

## Agradecimientos

Nuestro más sincero agradecimiento a nuestro amigo, mentor y director Ph.D Jorge Robledo Velásquez, quien en enero del 2007 confió en nosotros para que nos incorporáramos a su equipo de trabajo como docentes e investigadores de los Grupos de Gestión Tecnológica de la Universidad Pontificia Bolivariana y de Innovación y Gestión Tecnológica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. También quisiéramos expresar nuestro agradecimiento a una serie de personas e instituciones cuya colaboración ha sido vital en el desarrollo de esta obra y trabajo investigativo. En primera instancia, a la Universidad Pontificia Bolivariana y sus directivas, quienes nos apoyaron en este proceso de formación; igualmente, a los profesores de la Facultad de Minas de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, quienes compartieron discusiones interesantes en nuestro proceso de formación investigativa.

Agradecemos a los profesores de la Universidad Federico II, en Nápoles, Italia, y al grupo de investigación de Ingeniería Económica y Gestión, quienes acogieron al autor en su instancia doctoral, en especial los más sinceros agradecimientos al profesor Giuseppe Zollo, Cristina Ponsiglione e Ivana Quinto. Por último, aunque no menos significativo, queremos hacer un reconocimiento en el aspecto académico a las investigadoras Carlota Pérez, de la *London School of Economics*, y a Gabriela Dutrénit de la Universidad Autónoma Metropolitana – Xochimilco, de México. Sus aportes fueron vitales para las discusiones de esta obra y trabajo investigativo.

Finalmente, a nuestras familias quienes con su sabiduría nos acompañaron y guiaron en los momentos difíciles como padres, hijos y personas; a todos los que hicieron parte de nuestro proceso de formación, quienes con paciencia, comprendieron las diferentes etapas por las que hemos pasado en nuestros trabajos investigativos y carreras profesionales. A las numerosas personas que durante este tiempo nos han enseñado y que no podríamos nombrar de manera precisa y justa. A todos, nuestros más sinceros agradecimientos.

## Tabla de contenido

Lista de figuras.....	13
Lista de tablas .....	17
Lista de símbolos y abreviaturas .....	19
Introducción .....	23
<b>1. Aprendizaje interactivo en los SI.....</b>	<b>29</b>
1.1 Introducción .....	29
1.2 Los sistemas de innovación (SI).....	30
1.3 Los sistemas regionales de innovación "SRI" .....	32
1.4 El aprendizaje en los SRI.....	35
1.4.1 El aprendizaje por localización .....	36
1.4.2 El aprendizaje interactivo .....	36
1.4.3 El aprendizaje individual.....	37
1.4.4 El aprendizaje por especialización .....	38
1.4.5 El aprendizaje colectivo.....	38
1.4.6 El aprendizaje tecnológico .....	38
1.5 El aprendizaje producto de la interacción entre agentes en los SRI, los modelos y su evolución .....	40
1.6 Enfoques metodológicos de modelación y simulación en los SRI.....	45
1.7 La simulación basada en agentes (SBA) .....	49
1.8 Modelos de interacción entre agentes heterogéneos en los procesos de innovación y aprendizaje.....	51
1.8.1 El modelo SKIN.....	51

1.8.2 El modelo de los hiperciclos.....	54	3.3.3 Reglas de decisión que definen el comportamiento de los agentes.....	94
1.8.3 El modelo SSRIS (Self-Sustaining Regional Innovation System) .....	55	3.3.4 Recompensa, función de costos y beneficios.....	96
<b>2. Conceptualización del sistema para la construcción del modelo.....</b>	<b>59</b>	3.3.5 Aprendizaje doing – interacting .....	97
2.1 Introducción.....	59	3.4 Parámetros.....	98
2.2 Comprensión del fenómeno .....	60	3.5 Parametrización.....	100
2.2.1 ¿Cuáles son las preguntas a indagar?.....	60	3.6 Verificación computacional del modelo.....	102
2.2.2 ¿Qué se quiere modelar?.....	60	3.6.1 Creación de las oportunidades de innovación.....	103
2.2.3 ¿Qué ideas se quieren examinar?.....	60	3.6.2 Creación de agentes competidores .....	104
2.2.4 ¿Cuáles detalles del sistema son esenciales y cuáles no?.....	60	3.6.3 Creación de vínculos.....	105
2.2.5 ¿Cómo ayuda el modelo a la comprensión del fenómeno?.....	61	3.6.4 Aprendizaje y desaprendizaje .....	108
2.3 Relación de las respuestas anteriores con la teoría.....	62	3.6.5 Coevolución.....	110
2.3.1 El concepto de SRI señalado por Asheim y Gertler (2005) y la importancia de la cercanía geográfica en el aprendizaje interactivo .....	62	3.6.6 Desempeño del sistema .....	112
2.3.2 Los SRI desde la perspectiva de los SCA .....	63	3.6.7 Costos de las capacidades .....	114
2.3.3 Los agentes de un SRI.....	65	3.6.8 Síntesis .....	115
2.3.4 La relación entre los recursos, las capacidades y las competencias con el aprendizaje .....	68	<b>4. Validación conceptual y operacional del modelo.....</b>	<b>117</b>
2.3.5 Factores que promueven y restringen el aprendizaje en un SRI.....	78	4.1 Introducción.....	117
2.3.6 Patrones de aprendizaje.....	79	4.2 Paradigmas y técnicas de verificación y validación.....	118
2.3.7 Curvas de aprendizaje.....	81	4.2.1 Enfoques y técnicas de validación de los modelos... ..	118
2.3.8 Desaprendizaje y olvido .....	82	4.3 Validación conceptual .....	123
<b>3. Formulación de un modelo para analizar el aprendizaje en los sistemas regionales de innovación.....</b>	<b>87</b>	4.3.1 Supuestos.....	123
3.1 Introducción.....	87	4.4 Validación operacional .....	126
3.2 Supuestos del modelo.....	88	4.4.1 Aprendizaje interactivo y acumulación de las capacidades en la industria de la electrónica.....	127
3.3 Modelo conceptual .....	91	4.4.2 El caso de la empresa Anam de Corea del Sur .....	130
3.3.1 Oportunidades de innovación y entorno competitivo .....	91	4.4.3 El caso del RJP de Hong Kong.....	135
3.3.2 Construcción de fórmulas de éxito .....	93	4.4.4 El caso de Weames Hollingsworth Group, de Singapur .....	139
		4.4.5 El caso de Microelectronics Technology Inc. (MTI), de Taiwán.....	141
		4.4.6 Análisis de los casos Anam, RJP, Wearnes y MIT .....	143
		4.4.7 Desde un aprendizaje e I+D simple, a un aprendizaje e I+D complejo .....	144
		4.4.8 Implicaciones para los modelos de innovación tradicionales.....	145
		4.4.9 Relaciones entre el aprendizaje y el mercado de exportación.....	147



<b>5. El aprendizaje en los SRI mediante el análisis de escenarios</b> .....	<b>149</b>
5.1 Introducción.....	149
5.2 Escenarios.....	150
5.2.1 Escenario 1: SRI atractivo, aprendizaje interactivo con potencial competitivo.....	152
5.2.2 Escenario 2: SRI de alto potencial de aprendizaje interactivo y competencias.....	160
5.2.3 Escenario 3: Restringido: SRI que desaprende y restringe su potencial desarrollo.....	165
5.2.4 Comparación de los escenarios .....	168
5.3 Análisis estadístico de las simulaciones.....	172
5.4 Formulación y evaluación de políticas .....	178
<b>6. Conclusiones y trabajo futuro</b> .....	<b>187</b>
6.1 Conclusiones.....	187
6.2 Trabajo futuro.....	193
<b>A. Anexo: Interface del modelo: Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes</b> .....	<b>195</b>
<b>Bibliografía</b> .....	<b>197</b>

## Lista de figuras

<b>Figura 1-1.</b> Ilustración esquemática del Sistema Regional de Innovación.....	33
<b>Figura 1-2</b> Estructura principal de un Sistemas Regional de Innovación (SRI).....	34
<b>Figura 1-3.</b> Los enfoques de modelación y simulación .....	46
<b>Figura 1-4.</b> Componentes básicos de un sistema real y las interacciones entre agentes .....	50
<b>Figura 2-1.</b> Sistema de aprendizaje organizacional.....	66
<b>Figura 2-2.</b> Descripción de las funciones dinámicas del sistema de aprendizaje de la organización.....	67
<b>Figura 2-3.</b> Agentes del SRI en relación con sus competencias .....	68
<b>Figura 2-4.</b> Ciclo de descubrimiento .....	70
<b>Figura 2-5.</b> Curva de aprendizaje que requiere 1h de mano de obra directa para producir una unidad.....	83
<b>Figura 2-6.</b> Diferentes modelos de curvas de aprendizaje con valores de $Y=100$ unidades .....	83
<b>Figura 3-1.</b> Modelo de aprendizaje en un SRI.....	92
<b>Figura 3-2.</b> Vectores de atributos de Mi.....	92
<b>Figura 3-3.</b> Localización geográfica.....	92
<b>Figura 3-4.</b> Construcción de una fórmula de éxito "SF" por parte de un solo agente.....	94
<b>Figura 3-5.</b> Construcción de una fórmula de éxito "SF" a través de dos agentes .....	94
<b>Figura 3-6.</b> Construcción de una fórmula de éxito "SF" a través de los mecanismos de interacción (dL y dC).....	95

<b>Figura 3-7.</b>	Diagrama de flujo del modelo conceptual.....	103
<b>Figura 3-8.</b>	Distribución aleatoria de las oportunidades de innovación en el entorno competitivo .....	104
<b>Figura 3-9.</b>	Asignación aleatoria de magnitudes del vector de atributos, volatilidad y ciclo de vida de tres oportunidades de innovación.....	105
<b>Figura 3-10.</b>	Asignación aleatoria de magnitudes del vector de capacidades y stock de excedentes de tres agentes competidores.....	106
<b>Figura 3-11.</b>	Vínculos entre oportunidades de innovación y agentes competidores.....	107
<b>Figura 3-12.</b>	Relacionamiento entre agentes competidores para aprovechar una oportunidad de innovación usando sus capacidades de innovación.....	108
<b>Figura 3-13.</b>	Aprendizaje interactivo a partir del uso de las capacidades de innovación valiéndose de una oportunidad de innovación.....	109
<b>Figura 3-14.</b>	Capacidades promedio de los agentes competidores del sistema.....	111
<b>Figura 3-15.</b>	Número de agentes competidores del sistema.....	111
<b>Figura 3-16.</b>	Acumulación de las capacidades .....	112
<b>Figura 3-17.</b>	Variación de las capacidades .....	112
<b>Figura 3-18.</b>	Desempeño individual del agente 80 pasados 5 ticks.....	113
<b>Figura 3-19.</b>	Número de agentes competidores, oportunidades de innovación aprovechadas y no aprovechadas, agentes que hacen y no hacen fórmulas de éxito...	114
<b>Figura 3-20.</b>	Desempeño económico del SRI.....	114
<b>Figura 3-21.</b>	Costos promedio y costos acumulado de las capacidades.....	115
<b>Figura 4-1.</b>	Proceso de verificación y validación en el desarrollo de un modelo.....	119
<b>Figura 4-2.</b>	El aprendizaje a través de la acumulación de las capacidades: casos de estudio en el oriente asiático.....	143
<b>Figura 5-1.</b>	Escenarios derivados de diferentes combinaciones de parámetros .....	151
<b>Figura 5-2.</b>	Número de agentes en el sistema .....	156

<b>Figura 5-3.</b>	Stock de excedentes promedio .....	157
<b>Figura 5-4.</b>	Stock de excedentes acumulado.....	157
<b>Figura 5-5.</b>	Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	158
<b>Figura 5-6.</b>	Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	159
<b>Figura 5-7.</b>	Número de agentes en el sistema .....	161
<b>Figura 5-8.</b>	Stock de excedentes promedio .....	162
<b>Figura 5-9.</b>	Stock de excedentes acumulado.....	162
<b>Figura 5-10.</b>	Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	163
<b>Figura 5-11.</b>	Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	164
<b>Figura 5-12.</b>	Número de agentes en el sistema .....	166
<b>Figura 5-13.</b>	Stock de excedentes acumulado.....	167
<b>Figura 5-14.</b>	Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	168
<b>Figura 5-15.</b>	Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF .....	169
<b>Figura 5-16.</b>	Análisis comparativo del número de agentes que construyen fórmulas de éxito en los tres escenarios propuestos.....	170
<b>Figura 5-17.</b>	Análisis comparativo del desempeño económico a través del stock de excedentes acumulado de los agentes que construyen fórmulas de éxito en el sistema. ....	170
<b>Figura 5-18.</b>	Análisis comparativo del desempeño económico a través del stock de excedentes acumulado del sistema.....	171
<b>Figura 5-19.</b>	Plot de interacción entre: factor capacidad vs escenarios.....	173
<b>Figura 5-20.</b>	Boxplot de la variación de las capacidades acumuladas en los escenarios .....	174
<b>Figura 5-21.</b>	Boxplot de la capacidad promedio por agentes que hacen fórmulas de éxito .....	174
<b>Figura 5-22.</b>	Boxplot variación de la capacidad promedio de los agentes que realizan fórmulas de éxito.....	175
<b>Figura 5-23.</b>	Boxplot stock de excedentes de los escenarios .....	175

Figura 5-24. Intervalos de confianza tipo Tukey.....	178
Figura 5-25. QQ plot del gráfico de cuantiles.....	179
Figura 5-26. Número de agentes del sistema.....	181
Figura 5-27. Número de agentes que construyen fórmulas de éxito .....	182
Figura 5-28. Stock de excedentes promedio .....	183
Figura 5-29. Stock de excedentes acumulado.....	183
Figura 5-30. Acumulación de las capacidades .....	184
Figura 5-31. Variación de las capacidades .....	184
Figura 5-32. Acumulación de las capacidades .....	185
Figura 5-33. Variación de las capacidades .....	185

## Lista de tablas

Tabla 1-1. Modelos de innovación territorial.....	41
Tabla 1-2. Enfoques comparativos de los métodos de simulación .....	48
Tabla 1-3. Comparación de los elementos principales de cada modelo .....	58
Tabla 2-1. Asuntos clave de la exploración y la explotación.....	72
Tabla 2-2. Matriz de las capacidades tecnológicas .....	75
Tabla 2-3. Situaciones de aprendizaje y factores que lo promueven.....	79
Tabla 2-4. Visión general de situaciones de aprendizaje y las restricciones que lo relacionan.....	80
Tabla 3-1. Características de las oportunidades de innovación y capacidades requeridas .....	90
Tabla 3-2. Descripción de los parámetros del modelo.....	101
Tabla 4-1. Enfoques y técnicas de validación en los ABM .....	119
Tabla 4-2. Ventajas y desventajas de <i>las latecomers firms</i> .....	128
Tabla 4-3. Productos clave, hitos y logros tecnológicos de RJP .....	135
Tabla 5-1. Valores de los parámetros para los tres escenarios .....	153
Tabla 5-2. Factores y niveles analizados .....	173
Tabla 5-3. ANOVA del modelo estadístico .....	176
Tabla 5-4. Intervalos de Tukey para las diferencias de medias .....	177

## Lista de símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$Bt$	Beneficios	1	Ec. 2.
$CCK$	Costo de sostener una capacidad	1	Ec. 3.
$CCV$	Costo de mantenimiento de un VC	1	Ec. 4.
$K$	Valor máximo de la capacidad	1	Sección 3.5
$M$	Cantidad de posiciones de un vector	1	Ec. 3.
$PAk$	Magnitud del atributo	1	Ec. 2.
$PCK$	Magnitud de la capacidad	1	Ec. 3.
$SSt$	Stock de excedentes	1	Ec. 4.
$T$	Tiempo	Año	Sección 3.5
$tilc$	Tiempo de ciclo de vida de las innovaciones	Año	Sección 3.5

- $Y_{ij}$  Capacidad acumulada promedio del sistema en escenario  $i$ , capacidad  $j$ , inventario  $k$
- $\mu$  Promedio global de capacidad acumulada en los diferentes escenarios
- $\alpha_i$  Efectos fijos en el  $i$ -ésimo escenario sobre la capacidad acumulada del sistema
- $\beta_j$  Efecto fijo del  $j$ -ésimo capacidad sobre la capacidad acumulada del sistema
- $\delta_k$  Efecto fijo del  $k$ -ésima inventario sobre la capacidad acumulada del sistema
- $\varepsilon_{ijk}$  Error aleatorio del  $i$ -ésimo escenario, el  $j$ -ésimo capacidad, el  $k$ -ésimo inventario

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\delta$	Factor de desaprendizaje	0,1	Ec. 6.
$\gamma$	Factor de aprendizaje	0,1	Ec. 5.
$\mu$	Media	1	Ec. 2.
$\sigma$	Desviación estándar	0,1	Ec. 2.

## Subíndices

Subíndice	Término
K	Posición del vector
T	Tiempo

## Abreviaturas

Abreviatura	Término
A	Habilidad en el modelo <i>SKIN</i>
C	Capacidad en el modelo <i>SKIN</i>
CT	Costos de transacción
E	Experticia en el modelo <i>SKIN</i>
C.E	Entorno competitivo
I+D	Investigación y Desarrollo Experimental
ABM	Modelación basada en agentes
OI	Oportunidades de innovación
RD	Dirección de la investigación en el modelo <i>SKIN</i>

Abreviatura	Término
SCA	Sistemas Complejos Adaptables
SI	Sistema de innovación
SKIN	<i>Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks</i>
SNI	Sistema Nacional de Innovación
SRI	Sistema Regional de Innovación
SSI	Sistema Sectorial de Innovación
SSRIS	<i>Self-Sustaining Regional Innovation System</i>
STI	Sistema Tecnológico de Innovación
V	Volatilidad
VA	Vector de atributos
VC	Vector de capacidades
DL	Dinámicas de Aprendizaje
HFM	<i>History Friendly Models</i>
LBD	Aprendizaje por el Hacer
LBL	Aprendizaje por Localización
MIT	Modelos de Innovación Territorial
SBA	Simulación Basada en Agentes
SBE	Simulación Basada en Eventos
DS	Dinámica de Sistemas
LBL	Aprendizaje por Localización
LBI	Aprendizaje por Interacción
LBS&E	Aprendizaje por Búsqueda y Exploración
LBS	Aprendizaje por Especialización
Mi	Mensajes

Abreviatura	Término
Ajs	Agentes
UBND	Aprendizaje por el No hacer
Y	Número de horas de mano de obra directa requerida para producir X unidad
K	Número de horas de mano de obra directa necesaria para producir la primera unidad
X	Número de unidades acumuladas
$n = \frac{\text{Log } \phi}{\text{Log}^2}$	Índice de aprendizaje
$\phi$	Tasa o factor de aprendizaje
$1 - \phi$	Relación de progreso

## Introducción



El conocimiento, el aprendizaje y la innovación son los factores más importantes para la competitividad global de una economía basada en el conocimiento (Lundvall, 1992; OECD, 2000). De ahí la importancia de entender los fenómenos responsables de la producción de conocimiento y los patrones de aprendizaje relacionados con determinado desempeño innovador y económico territorial. Por otra parte, la innovación es un fenómeno social complejo, resultante de la interacción entre agentes diversos, y tiene como consecuencia el crecimiento económico y el bienestar humano (Robledo & Ceballos, 2008). La perspectiva sistémica de la innovación y los procesos de aprendizaje producto de la interacción entre agentes, ha adquirido un papel crucial en la comprensión de las dinámicas de la innovación, especialmente cuando se tienen en cuenta las interacciones que se presentan entre los productores, los consumidores y los competidores (Gilbert, Pyka, & Ahrweiler, 2001). Hasta ahora, las perspectivas de modelación de los SRI se han preocupado más por revelar qué constituye la estructura institucional y productiva, la

región y las interacciones e interrelaciones entre sus diferentes agentes (Moulaert & Mehmood, 2010). Sin embargo, tales perspectivas han tomado un sesgo de carácter *top-down* propio de los sistemas nacionales, dejando de lado la investigación desde perspectivas de carácter *bottom-up* que contemplen, entre otros fenómenos, patrones de especialización y aprendizaje localizado (Howells, 1999; 2005; Lammariño, 2005; Uyarra, 2010).

Actualmente, los métodos convencionales de análisis en los *SRI* muestran dificultades a la hora de describir dinámicas complejas como los procesos de aprendizaje y, por lo tanto, resulta necesario usar mecanismos de análisis alternativos como las simulaciones. Según Robledo y Ceballos (2008), “[...] en el marco de esta literatura, centrada en la innovación, llama la atención la escasez de modelos de simulación que tengan como objeto los sistemas y los procesos de innovación” (Robledo & Ceballos, 2008, p. 129), debido a que la innovación como fenómeno social es sumamente compleja. Sin embargo, investigar a través de la modelación y simulación el conjunto de patrones de aprendizaje que emergen de la interacción entre agentes que compiten y colaboran para aprovechar las oportunidades de innovación, permite diferenciar políticas y estrategias adecuadas, así como un mejor conocimiento del desempeño innovador en los sistemas de innovación, en lo sucesivo SI (Howells, 1999).

Modelar y simular el aprendizaje interactivo en un *SRI* no resulta tan fácil (Lundvall, 1985; 1988; 1992), pues el aprendizaje interactivo, al igual que otros factores, se caracteriza por presentar adherencia a un territorio y por estar insertado o arraigado localmente, lo que da lugar a capacidades localizadas y distribuidas de manera desigual (Malberg & Maskell, 1997; 1999; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004) al usar y poner en práctica las propias dinámicas de aprendizaje. Estas son comprendidas como “la capacidad de la firma para integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas para hacer frente a entornos que cambian rápidamente” (Teece, Pisano, & Shuen, 1997, p. 518), propiciando lo que se conoce como “patrones corrientes de práctica y aprendizaje” (Teece et al. 1997, p. 518).

Dicho comportamiento hace aún más complejos estos sistemas, debido a la dificultad que se presenta a la hora de establecer cómo se produce el aprendizaje y el tipo de patrones que emergen producto del uso y la práctica de las capacidades en el contexto de los *SRI*. En esta dirección, el conocimiento acumulado es incipiente y adolece de múltiples limitaciones, como se mostrará más adelante. Es por ello que la metodología que aborde dicha problemática, debe ayudar a facilitar el análisis dinámico y longitudinal del aprendizaje y sus patrones en los *SRI*, entendiendo que algunos patrones conducen a fenómenos

emergentes no conocidos en la estructura productiva de una región.

Las características mencionadas son primordiales para analizar el desempeño innovador de los agentes y del sistema y para presentar argumentos que justifiquen la existencia y configuración de un *SRI*. En las últimas décadas, los *SRI* han presentado fuertes críticas por su sesgo nacional, lo que ha generado una teorización debido a las dificultades que han presentado sus estudios empíricos respecto a la “recolección y medición de datos” (Mackinnon, Cumbers, & Chapman, 2002). Reconociendo la importancia del fenómeno del aprendizaje en los *SRI* y las dificultades expuestas anteriormente, el objetivo de esta obra es proponer un modelo de simulación basado en agentes, que permita analizar el aprendizaje producto de la interacción de agentes heterogéneos e identificar atributos y reglas que posibiliten la formulación de políticas y estrategias que conduzcan a un mejor desempeño en un *SRI*.

Para lograr el cumplimiento de este objetivo se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las principales tendencias y teorías relacionadas con los *SRI* en países en desarrollo.
- Identificar a los agentes y sus atributos (“propiedades y mecanismos” que componen un *SRI*)

- Desarrollar un modelo de simulación basado en la interacción de agentes que permita trasladar las relaciones encontradas en la teoría del aprendizaje de los *SRI* como fenómeno emergente, así como la identificación de patrones de comportamiento del sistema.
- Describir algunos fenómenos emergentes que se dan dentro de las infraestructuras institucionales que apoyan a la innovación en la estructura productiva de una región.
- Diseñar escenarios de políticas y estrategias que conduzcan a un mejor desempeño en los *SRI*.

El concepto restringido de la innovación ha utilizado la perspectiva del aprendizaje por la búsqueda y exploración (Nelson & Rosenberg, 1993). Sin embargo, Freeman (1987) y Lundvall (2007), quienes no solo han considerado las innovaciones tecnológicas sino también las innovaciones no tecnológicas como un concepto amplio, han preferido definir la innovación como un proceso que abarca, además de la introducción de innovaciones por primera vez en el mercado, su “difusión y su uso”, surgiendo la perspectiva del aprendizaje por la práctica. Esta perspectiva implica el aprendizaje *learning by doing* (Arrow, 1962), *learning by using* (Rosenberg, 1982) y *learning by interacting* (Lundvall, 1992), buscando relacionar patrones y prácticas de aprendizaje asociadas a situaciones y factores relacionados con el desarrollo de nuevos productos y su desempeño económico en el mercado (Lund, 2004).

El modelo elaborado en esta investigación representa dinámicas de aprendizaje del tipo *doing-interacting* y proporciona una mejor comprensión del aprendizaje a partir del análisis de los patrones de especialización de las capacidades de los agentes del sistema. Estos patrones pueden verse afectados por un factor de aprendizaje que podría promover o restringir tales dinámicas (Lund, 2004), y la heterogeneidad de los agentes es representada a través de un vector de capacidades como una forma distintiva y propia de cada agente. Este vector proporciona y posibilita la interacción y complementariedad de las capacidades de los agentes a través de reglas de decisión, con el objetivo de suplir las oportunidades de innovación (individual o en conjunto) generadas por el entorno competitivo. El comportamiento anterior propicia alianzas y un aprendizaje *doing-interacting*; aquellos agentes que usen sus capacidades por interacción las acumularán, y las que no, las perderán; la velocidad con que se acumulen las capacidades dependerá del factor de aprendizaje que caracterice al sistema. El análisis permitió identificar cuáles son las dinámicas de aprendizaje y los patrones que conllevan a la especialización de un SRI.

Las capacidades de innovación que representa a los agentes en el modelo son las capacidades de I+D, las de vinculación, las de producción y las de mercadeo; estas se encuentran asociadas a las funciones de generación, difusión y uso que debe pre-

sentar cualquier sistema de innovación para su existencia a partir de la interacción entre agentes (Carlsson et al. 2002). Lundvall (2004) enfatiza en que estas funciones influyen notablemente en los procesos de innovación y el aprendizaje interactivo de los sistemas de innovación. Otras capacidades (capacidades organizacionales, gestión de recursos, direccionamiento estratégico y absorción), que también son importantes en estos procesos, no fueron consideradas por ser transversales y difíciles de ubicar en una función específica. No obstante, para el propósito del modelo, se focalizará la atención en las capacidades vinculadas específicamente a las dinámicas de exploración y explotación.

Los modelos actuales de innovación en la literatura representan los agentes y procesos que intervienen en la innovación y resaltan la importancia del aprendizaje. Sin embargo, comprender cuáles son los mecanismos responsables de la dinámica de estos sistemas y, en particular, del aprendizaje, no resulta fácil, principalmente por la heterogeneidad de los agentes que intervienen y la complejidad de sus interacciones (Gilbert, Pyka, & Ahrweiler, 2001). Lo anterior ha llevado a considerar estos sistemas como Sistemas Complejos Adaptables (en lo sucesivo SCA), concebidos como un arreglo de agentes que interactúan a través de reglas que cambian en la medida en que los agentes acumulan experiencia (Holland J. H., 2004).

Una de las técnicas de simulación más útiles para abordar esta clase de sistemas son los modelos de simulación basados en agentes (ABM por su sigla en inglés). Estos modelos estudian la emergencia a nivel macro de patrones de comportamiento de un sistema a partir de las interacciones de agentes semi inteligentes del nivel micro. Algunos modelos desarrollados que han usado esta técnica han simulado el efecto de las capacidades, el aprendizaje en red y la relación entre agentes para comprender el desempeño innovador del sistema. Este trabajo examina algunos de estos modelos y discute por qué son insuficientes para comprender el proceso del aprendizaje y la identificación de patrones de aprendizaje que ayuden a describir algunos fenómenos emergentes como la especialización.

Como aporte principal, se propone un modelo basado en agentes cuyo entorno competitivo representa las oportunidades de innovación en el sistema. Además, se introduce un gran número de agentes competidores que satisfacen la demanda a través de sus fórmulas de éxito. La interacción entre agentes se describe mediante reglas de decisión (localización y complementariedad), permitiendo comprender cómo los agentes de un SRI aprenden y qué patrones adopta el sistema. El modelo contribuye a una mejor comprensión de las dinámicas de innovación y aprendizaje en un SRI y permite definir orientaciones de política y estrategia para un mejor desempeño innovador del sistema. El presente

trabajo se sustenta metodológicamente en una adaptación del proceso de modelación de Sterman (2000) y se estructura así:

Fase I: definición del problema. Para el desarrollo de esta etapa, fue necesario definir un propósito claro para enfocar la investigación. El proceso de construcción del modelo comienza con la identificación de comportamientos problemáticos que presentan variaciones a lo largo del tiempo.

Fase II: conceptualización del sistema. En esta etapa se definieron los distintos elementos que integran la descripción del sistema, así como las influencias que se producen entre ellos. Se define además la frontera del sistema, es decir, qué se considera endógeno y qué exógeno.

Fase III: formulación del modelo. En esta etapa son especificadas las relaciones en el modelo, también se especifican los supuestos y las reglas de decisión. Luego se estiman cuáles van a ser los parámetros y sus condiciones iniciales. Y antes de que el modelo pueda ser utilizado como herramienta de análisis, este fue verificado computacionalmente.

Fase IV: validación del modelo. Es el proceso que establece confianza en la validez y utilidad del modelo. En esta etapa se ponen a prueba los supuestos y las reglas de decisión del modelo, así como el comportamiento del modelo. La validación del modelo conceptual se interesa en garanti-

zar que el modelo esté correctamente sustentado, especialmente en sus supuestos y reglas de decisión. Por otra parte, la validación operacional busca que el comportamiento resultante capture la dinámica del sistema real estudiado.

Fase V: análisis del comportamiento del modelo. Se realiza un análisis de sensibilidad como medio para un mejor entendimiento del modelo y para localizar los parámetros sensibles en el modelo. En esta etapa es definida una base para la comparación de los comportamientos. Posteriormente, se plantean otros escenarios y se estudia el resultado de los cambios, comparando los diferentes resultados.

Para lograr el objetivo de investigación, la tesis se estructura de la siguiente manera: en el capítulo 1 se presenta el marco teórico y se analizan las distintas perspectivas investigativas que han abordado el fenómeno del aprendizaje; luego se construye el estado del arte, buscando examinar las limitantes de las diferentes aproximaciones que han abordado y analizado el aprendizaje, con el propósito de orientar la investigación en la identificación de los comportamientos problemáticos y sus variaciones en el tiempo.

El capítulo 2 realiza la conceptualización del sistema, responde las preguntas de investigación acerca de cómo el modelo ayudará a la comprensión del fenómeno del aprendizaje y se comparan las ideas resultantes de

este proceso con la teoría para, finalmente, obtener los distintos elementos que integran el sistema y la relación entre ellos. El capítulo 3 realiza el diseño y la formulación del modelo conceptual; este comprende la definición de supuestos, reglas y parámetros, para su posterior programación y verificación del funcionamiento. El capítulo 4 analiza los comportamientos del modelo a través de la simulación de diferentes escenarios; estos permiten comparar los comportamientos de los agentes y el sistema, lo cual se logra modificando los factores que propician o restringen el aprendizaje. La validación conceptual y operacional se realiza utilizando dos técnicas: el método histórico desde el enfoque racionalista y la técnica del método histórico amigable. Esta última técnica utiliza deducciones lógicas y casos específicos de la industria electrónica de cuatro países del oriente asiático.

En el capítulo 5 se propone la formulación y evaluación de las políticas, para lo cual se plantean tres escenarios que permiten comparar el comportamiento de los agentes, modificando los ingresos por atributos que entrega el entorno competitivo y promoviendo el aprendizaje como un efecto de política pública, con el fin de diferenciar estrategias que permitan conocer el mejor desempeño innovador del sistema. Finalmente, se presentan las conclusiones, que recogen los principales aportes del trabajo y dan cuenta del cumplimiento de los objetivos de la tesis y las posibilidades de trabajo futuro.

## 1. El aprendizaje interactivo en los Sistemas de Innovación

### 1.1. Introducción

En este capítulo se introduce el aprendizaje interactivo como área de interés investigativo, el cual se ha tratado de explicar con diferentes modelos a través del tiempo. Los modelos han pasado de un enfoque lineal a un enfoque sistémico; las economías evolutiva (Nelson & Winter, 1982), institucional (Nelson, 1993) y regional (Storper, 1993), han dado paso al desarrollo evolutivo de la economía de la innovación (Dosi, 1988) y el aprendizaje (Foray & Lundvall, 1996). Este último enfoque viene enfrentado algunos problemas a la hora de representar dinámicas de aprendizaje interactivo a nivel localizado (Lundvall, 2004, p. 32), las cuales son favorecidas por la cercanía (Asheim & Cooke, 1999) de los agentes en el sistema.

El aprendizaje se reconoce como un proceso a través del cual las empresas crean conocimiento y adquieren capacidades, proporcionando la adopción de rutinas

organizacionales gracias al aprendizaje colectivo en las organizaciones (Cyert & March, 1999). Las dinámicas del aprendizaje interactivo de carácter localizado se enmarcan en un SRI como área problemática de investigación, dado que estos sistemas se conforman por agentes heterogéneos que se relacionan e interactúan localmente. Tales dinámicas no resultan ser tan móviles y se caracterizan por presentar adherencia al territorio, dando lugar a capacidades localizadas y distribuidas muy desigualmente en el sistema (Malberg & Maskell, 1997; Maskell & Malmberg, 1999; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004). Además, dichas capacidades pueden ser las que el SRI necesita para innovar o, en otras palabras, son las capacidades de innovación.

## 1.2. Los sistemas de innovación (SI)

Actualmente, los marcos de análisis de los SI y sus diferentes enfoques son resalados en la literatura por la existencia de múltiples problemas metodológicos, presentándose en la última década un foco importante para los estudios de las políticas de innovación. Nelson (1993) realiza una crítica a la literatura de los SI y sus corrientes, dado que no define de modo preciso el término "sistema". Para Nelson, en efecto, "the systems concept is that of a set of institutional actors that, together, plays the major role in influencing innovative performance" (Nelson, 1993, p. 4-5). En este pasaje se sostiene, implícitamente,

que el término sistema no implica algo diseñado y construido conscientemente, ni siquiera que las instituciones implicadas trabajen juntas de modo coordinado y coherente, como sí lo es para otros autores. Estos estudios se han concentrado en la estructuración de un marco teórico que permite evaluar y determinar los procesos de innovación y sus principales causas de análisis (Freeman, 1987; Lundvall, 2007). Según Edquist (2001), un SI de innovación es definido como aquellos factores económicos, sociales, políticos, organizativos e institucionales más importantes que influyen en el desarrollo, difusión y uso de la innovación, resaltando que el sistema se encuentra compuesto por un conjunto de componentes (organizaciones e instituciones), cuyas relaciones entre sí desempeñan una función determinada y cuyos límites o fronteras los distinguen del resto o del entorno (Edquist, 2005).

Un SI está constituido por subsistemas, que a su vez están compuestos por organizaciones e instituciones en una región (Autio, 1998; Tödtling & Trippl, 2005). Para que las relaciones sean sistémicas entre los agentes en estos sistemas, se debe implicar cierto grado de interdependencia operativa y de gestión, tal como lo afirma Mostafavi (2011). Estas características son nombradas por Maier (1998) como características distintivas, así como lo son, también, la distribución geográfica, el comportamiento emergente, la evolución y el desarrollo.

La función y el desempeño de las instituciones de cualquier SI consiste en colaborar en la generación, difusión y uso del conocimiento y la tecnología (véase, Carlsson, Jacobsson, Holmén, & Rickne, 2002; Carlsson, 2006). Además, se debe precisar la interacción del sistema con su entorno (Cooke & Morgan, 1998), siendo capaz este último de reproducir su estructura básica y mantener activamente la distinción entre su interior y su exterior (Bathel, 2003; 2004).

La necesidad de una mejor comprensión de los SI ha inspirado a los investigadores renovadores de las teorías económicas de Joseph Schumpeter (evolucionistas), de K. Marx y, más recientemente, de Robert Boyer y Pascal Petit (regulacionistas), a constituir redes académicas de estudio con el fin de comprender los fenómenos y las problemáticas que subyacen en dichos sistemas de conocimiento.

Enfoques como los de la economía evolutiva de Nelson y Winter (1982), que dio paso a la economía institucional de Richard Nelson (1993), y posteriormente a las nuevas economías regionales de Storper (1993), fueron claves para el desarrollo evolutivo de la economía del aprendizaje (Foray & Lundvall, 1996), la economía de la innovación (Dosi, 1988) y la actual teoría de red (Hakansson, 1987) de los diferentes SI.

Según Freeman (1987), las interacciones entre distintos agentes dieron lugar al

surgimiento del concepto de Sistema Nacional de Innovación (SNI), desarrollado y aplicado también por Lundvall (1992) y posteriormente por Nelson (1993). Actualmente, dicho concepto se utiliza de manera importante alrededor del mundo en el desarrollo económico, bien sea nacional o regional.

Inicialmente, la literatura orientó el análisis del SNI como una red de instituciones públicas y privadas cuyas actividades e interacciones contribuyen a la producción, difusión y uso de conocimiento (Freeman, 1987; Lundvall, 1988), dicha red tiene como papel primordial el mejoramiento en el desempeño innovador de las empresas y el sistema, contando con una amplia red de agentes articulados, convirtiéndose en un tema central por la interacción y flujos de información del conocimiento entre sus agentes.

Posteriormente, un conjunto de autores centró su atención en el desempeño de la innovación de los diferentes sectores. Fue así como Bresci & Malerba (1997) y Edquist (1997), desarrollaron el concepto de Sistema Sectorial de Innovación; luego Carlsson y Stankiewicz (1991) el de Sistema Tecnológico de Innovación. Recientemente la atención se ha dirigido hacia el desarrollo regional, cobrando importancia los estudios de sistemas de innovación local y regional, ahondando y reconociendo que el conocimiento y los procesos de aprendizaje se dan de forma localizada.

En la literatura actual han tomado mucha fuerza los conceptos de SRI (Cooke, Gómez, & Etxebarria, 1997; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004; Asheim & Gertler, 2005), Sistema Localizado de Innovación (Rickne, 2001; Asheim & Isaksen, 2003), al igual que conceptos asociados como lo son los Distritos Industriales (Marshall, 1919), *Milieux Innovateurs* (Aydalot P., 1986) y Cluster (Porter, 1990).

### 1.3. Los sistemas regionales de innovación "SRI"

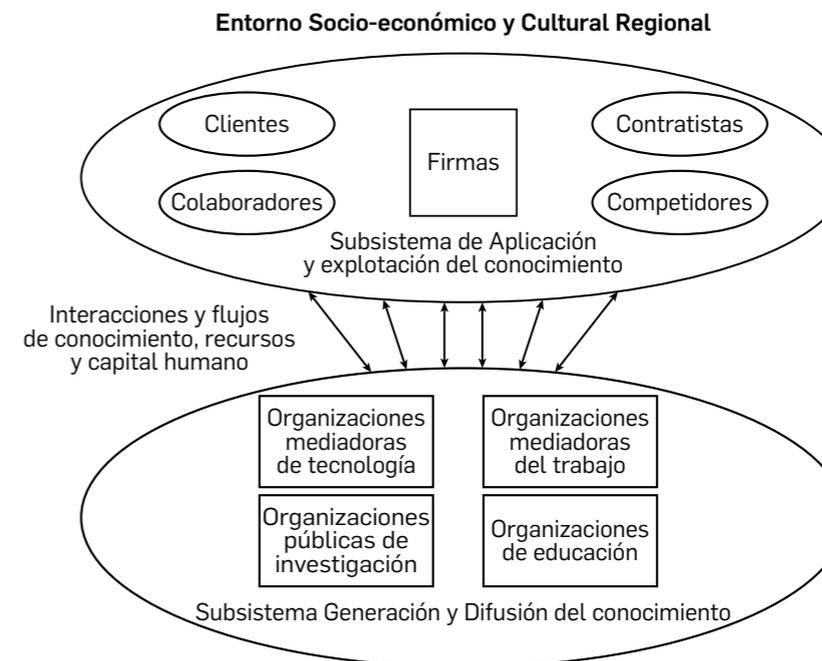
Actualmente, se señala que el término SRI fue empleado por primera vez por Philip Cooke a comienzos de 1990, pocos años después de que hubiera aparecido publicado, también por primera vez, el término de SNI. Aunque no existe una definición de SRI plenamente aceptada, Asheim y Gertler definen brevemente un SRI como "[l]a infraestructura institucional que apoya a la innovación en la estructura productiva de una región" (Asheim & Gertler, 2005, p. 299, traducción del autor).

Autores como Cooke, Gómez y Etxebarria (1997; 1998; 2001), han expresado en sus trabajos que el SRI estaría integrado por dos subsistemas de actores implicados en un aprendizaje interactivo. El primer subsistema denominado como generador de conocimiento, estaría compuesto por laboratorios de investigación públicos y privados, universidades, agencias de transferencia tecnológica y centros de formación continua; el segundo es denominado "sub-

sistema de explotación de conocimiento o estructura de producción regional" (ver Figura 1-1), compuesto en su mayoría por empresas, especialmente aquellas que muestran características sistémicas (Cooke & Memedovic, 2006).

De acuerdo con Tödtling & Tripl (2005), las organizaciones gubernamentales y las agencias de desarrollo regional actuarían sobre ambos subsistemas, las cuales constituirían a su vez otro subsistema del SRI (ver Figura 1-1). Muchos autores han criticado la literatura de los SRI por su falta de precisión, claridad y rigor de sus conceptos; Doloreux (2002; 2005); Mackinnon, Cumbers y Chapman, (2002); y (Uyarra y Flanagan, 2010) señalan que los componentes claves de un SRI varían de unos autores a otros, así como las relaciones causales entre ellos o el hecho de que no aparezcan precisadas sus características ni sus atributos espaciales.

Autores como Doloreux y Parto (2005) critican las definiciones y descripciones de Cooke y Asheim, dado que no revelan suficientemente qué constituye tal estructura productiva e institucional, la región y sus actores y, más importante aún, aquellas interacciones, así como las interrelaciones que ligan a unos actores con otros. Sin embargo, Howells (1999), Iammarino (2005) y Uyarra (2010), consideran que tal visión de los SRI presenta un claro sesgo *top-down*, más propio de los SNI que de los SRI, y que la caracterización de estos últimos debería comprender también una perspectiva



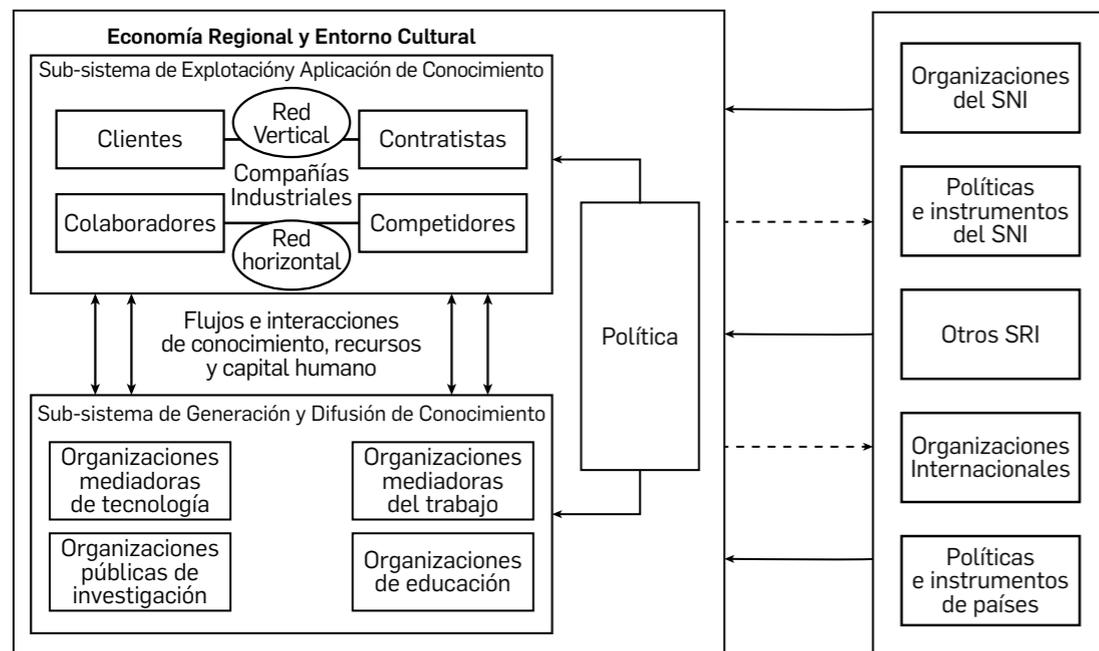
Fuente: Adaptado de Cooke y Memedovic (2006, p. 6).

Figura 1-1. Ilustración esquemática del Sistema Regional de Innovación

*bottom-up* que contemple patrones de comunicación, invención y aprendizaje localizado, compartición del conocimiento localizado, procedimientos localizados de búsqueda y exploración, integración de redes localizadas y, en consecuencia, un alineamiento de los modos de gobernanza y la dependencia de las sendas históricas de los procesos de innovación (Iammarino, 2005).

En la actualidad, los SRI se abordan desde diferentes enfoques. Algunos se basan en el conocimiento teórico y empírico del sistema y otros abordan las estructuras y sus comportamientos actuales. Este último enfoque tiene como fin analizar propuestas de estrategias y políticas para un mejor desempeño del sistema (Cooke & Memedovic, 2006).

El SRI, es concebido por la literatura como un sistema abierto, socialmente construido y ligado a otros sistemas regionales, nacionales y globales dentro de una perspectiva multinivel de gobernanza (Coenen & Asheim, 2006) (ver Figura 1-2, página siguiente). A lo anterior, y siguiendo la teoría de la complejidad, se podría agregar que los SRI son sis-



Fuente: Modificado de Autio (1998, p. 134)

Figura 1-2. Estructura principal de un Sistema Regional de Innovación (SRI)

temas que presentan comportamientos característicos de los sistemas complejos pues la innovación es un fenómeno social complejo, resultante de la interacción entre actores diversos que tienen como propósito el crecimiento económico y bienestar humano (Robledo & Ceballos, 2008).

Según Begun, Zimmerman y Dooley (2003, p. 259), “[...] la teoría de la complejidad enfatiza en indeterminismo en lugar de determinismo, variación en lugar de promedios, y control local en lugar de global”; los SRI son objeto de estudio desde la teoría de la complejidad como cualquier sistema de innovación, y pueden ser sensibles a pequeñas variaciones de sus estados iniciales, lo que se conoce como “el efecto mariposa” planteado por Edward Lorenz (para más detalles ver: Begun, Zimmerman, & Dooley, 2003).

El desarrollo teórico y conceptual de los SRI ha sido influenciado por diferentes escuelas de pensamiento. Las contribuciones a la comprensión bajo el enfoque de la teoría de la complejidad representan un cambio evolutivo para un mejor análisis de aquellos fenó-

menos denominados emergentes en estos sistemas. A la luz de la teoría general de sistemas de Bertalanffy (1968), los SRI son sistemas abiertos, complejos y adaptables (Holland J., 1995), afirmación que se expondrá y sustentará más adelante.

Recientemente, se ha despertado un gran interés hacia la caracterización y descripción de algunos SRI en países en desarrollo de América Latina (Llisterri & Pietrobelli, 2011). De igual forma, se conocen algunos estudios recientes con aportes significativos al conocimiento de los SRI desde diferentes perspectivas, por ejemplo, cómo se afecta la capacidad de absorción de algunas empresas a través de las relaciones de algunos elementos claves, como lo son las iniciativas de innovación regional y los servicios intensivos en conocimiento (Lau & Lo, 2015).

Otra perspectiva significativa en los estudios de los SRI aborda las relaciones complejas en los procesos de intercambio de conocimiento (Reig Otero, Edwards Schachter, Feliú Mingarro, & Fernández de Lucio, 2014) desde las redes que afectan los procesos de innovación (Zhong & Ozdemir, 2010). Por último, la perspectiva de los Sistemas Complejos Adaptables presenta recientemente el modelo de autosostenibilidad de un SRI (Ponsiglione, Quinto, & Zollo, 2014) a partir del modelo SKIN (Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2004). Sin embargo, aún no se han explorado, en estos sistemas localizados, los efectos en los procesos de innovación y

aprendizaje de manera localizada y las dinámicas del aprendizaje como un factor clave para la medición en el desempeño innovador y económico del sistema.

### 1.4. El aprendizaje en los SRI

En la actualidad, el factor clave para obtener ventajas competitivas es el conocimiento y las capacidades de innovación que de él se deriva (Porter, 1990; Aydalot & Keeble, 1988; Enright, 1999; Krugman, 1993; Saxenian, 1996; Maskell & Malmberg, 1999). Los autores que integran la literatura de los SRI (Asheim & Isaken, 2002; Asheim & Cooke, 1999; Asheim & Gertler, 2005; Berg Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall, 2007) o del aprendizaje localizado, han abandonado la dicotomía entre conocimiento tácito y codificado, y ya no reducen sus análisis al de la proximidad exclusivamente, o al del carácter geográfico, y no proclaman lo local como única fuente de conocimiento tácito. Dichos autores consideran todavía que el conocimiento está insertado en las personas y que es dependiente de un contexto, sin dejar de lado que se adhiere a un territorio. En definitiva, para ellos sigue existiendo un “efecto de vecindad”, de modo que la proximidad espacial tiende a reforzar las otras formas de proximidad y dan lugar a la existencia de efectos localizados en los procesos de innovación y aprendizaje (Morgan, 1997; 2004; Lundvall, 2004; Maskell, Bathel, & Malberg, 2006; Lundvall, Intarakumnerd & Vang, 2006).

El aprendizaje se define como el proceso a través del cual las empresas crean conocimiento y adquieren capacidades tecnológicas (Dutrénit, 2000). Según Teece, Rumelt, Dosi, y Winter, (1994), el aprendizaje es un proceso que implica la repetición y la experimentación, permitiendo realizar más rápido y mejor una tarea, e identificando nuevas oportunidades de producción. En síntesis, el aprendizaje es un proceso en el cual las empresas crean conocimiento y adquieren capacidades, lo que proporciona el desarrollo y adopción de prácticas o rutinas organizacionales gracias al aprendizaje colectivo entre las organizaciones (Cyert & March, 1999). El concepto de la innovación en la literatura de los SRI, se describe como un fenómeno de aprendizaje interactivo, dando presencia a varios enfoques y tipos de aprendizaje. A continuación se presentan los tipos de aprendizaje y sus diferentes enfoques.

#### 1.4.1. El aprendizaje por localización

Tal forma de aprendizaje es explicado por la literatura fundamentalmente como la adherencia del conocimiento a un territorio, por el hecho de que, en contra de los supuestos que manejaba la economía neoclásica, el conocimiento no es simplemente la información plenamente codificable y explícita (hecho que posibilitaría su transmisión a cualquier lugar del mundo), sino que este tiene también un importante componente de carácter tácito (Polanyi, 2009). El conocimiento tácito se encuentra insertado no solo en las habilidades de los

individuos y en las rutinas y procedimientos de las organizaciones, sino también en el ambiente (*milieux*) como tal, o incluso en las relaciones que conectan las diferentes empresas en un contexto institucional más amplio (Malberg & Maskell, 1997).

Los primeros trabajos de estas corrientes consideraban que el conocimiento tácito sólo podía transmitirse entre el factor humano con una relación cara a cara y, más específicamente, por convivencia entre agentes que comparten ciertas cuestiones en común (lengua, códigos de comunicación, convenciones y normas). Estos factores y sus relaciones son la base para generar la confianza y el entendimiento que posteriormente dan lugar a su transmisión. La transmisión del conocimiento tácito depende del factor productivo "capital humano", caracterizado por su baja movilidad y cierta interacción y convivencia de las personas entre las que se transmite el conocimiento (Lundvall, 1992). La proximidad se considera clave para la producción, transmisión y compartición del conocimiento, surgiendo entonces el enfoque del aprendizaje mediante la interacción "*learning by interacting*" (en lo sucesivo LBI).

#### 1.4.2. El Aprendizaje Interactivo

La introducción del concepto de SNI por Lundvall (1985) y Freeman (1987), como un concepto explicativo de las dinámicas nacionales de desarrollo, fue enfatizando por el profesor Freeman en las interacciones institucionales, refiriéndose al SNI

como una red de instituciones de los sectores público y privado, cuyas actividades e interacciones inician, importan, modifican y difunden nuevas tecnologías. Lundvall ha circundado bajo el desarrollo del concepto en su dimensión colectiva, como un sistema social que tiene como actividad central el LBI entre las personas (Lundvall, 2004).

Bajo el concepto restringido de la innovación de (Nelson & Rosenberg, 1993), surge el enfoque del aprendizaje por búsqueda y exploración "*learning by searching and by exploring*" (en lo sucesivo LBS&E), el foco principal de estos análisis se dirige entonces a las instituciones y organizaciones más implicadas en los procesos de investigación y exploración, enfocándose en los determinantes de las innovaciones radicales y de los cambios de los sistemas tecnológicos.

Por el contrario de Nelson y Rosenberg, (Freeman, 1987) y (Lundvall, 2007) consideran también, dentro de este marco conceptual, las innovaciones no tecnológicas. Lundvall prefiere definir la innovación como un proceso que abarca, además de la introducción por primera vez en el mercado, la "difusión y su uso" emergiendo, entonces, bajo esta concepción amplia, el enfoque del aprendizaje por la práctica que implica *learning by doing* (Arrow, 1962), *learning by using* (Rosenberg, 1982) y *learning by interacting* (Lundvall, 1992). Lundvall también considera que no basta con la mera introducción de un nuevo conocimiento o innovación, sino que resulta

fundamental desarrollar la capacidad de aprender y generar competencias:

*The change from a linear to an interactive view of innovation and knowledge production has also been a way to connect innovation and the further development of competence. As now understood, the innovation process may be described as a process of interactive learning in which those involved increase their competence while engaging in the innovation process.* (Lundvall, 2004, p. 32).

Actualmente, la literatura presenta otros enfoques y tipologías de aprendizaje, por ejemplo el aprendizaje organizacional que desarrolla las rutinas empresariales, la creación de manuales, la constitución de bases de datos, etc; el aprendizaje colectivo y el aprendizaje individual.

#### 1.4.3. El aprendizaje individual

Simon (1996) señala que todo aprendizaje se lleva a cabo primero en el ámbito individual, por ello la organización aprende solo en dos vías: por el aprendizaje de sus miembros o por la ingestión de nuevos miembros con conocimientos que la organización no tenía. El aprendizaje individual es un fenómeno social, lo que un individuo aprende es muy dependiente de lo que ya saben otros miembros de la organización. El aprendizaje individual aparece recientemente en la literatura de los SRI, quizá porque a la hora de distribuir competencias

entre los diferentes niveles de sistemas de innovación el papel regulador de tal instancia parece atribuirse más en el ámbito nacional. (Cooke, De Laurentis, Todtling, & Tripp, 2009). Se considera distintivo de la corriente de los SRI la atención prestada al talento y al emprendimiento regional.

#### 1.4.4. El aprendizaje por especialización

La literatura especializada actual viene desarrollando el concepto de aprendizaje por la especialización, *learning by specialization* (en lo sucesivo LBS). Este se encuentra tipificado en la literatura de los sistemas sectoriales y regionales de innovación, por ejemplo en los clústeres y distritos industriales, donde la innovación depende más del aprendizaje derivado de la interacción entre las empresas locales especializadas, y donde estas tienen menos interacciones con las universidades y los centros de investigación (Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006). Este tipo de aprendizaje se basa, en particular, en las competencias de las empresas con relación en sus fases de producción, conduciendo a la mejora continua del stock del conocimiento existente (Gottardi, 1997; Lipparini & Lorenzoni, 1996; Maskell & Malmberg, 1999) y aumentando el nivel de competencia por las empresas especializadas.

#### 1.4.5. El aprendizaje colectivo

Una serie de autores (Amin & Cohendet, 1999) sostienen que la proximidad es necesaria para la transmisión del conocimiento

tácito que puede ser de carácter organizativo o relacional, de modo que surge recientemente en la literatura el aprendizaje colectivo (Gottardi, 1997; Lipparini & Lorenzoni, 1996; Maskell & Malmberg, 1999; Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006; Lundvall, Intarakumnerd, & Vang, 2006), este puede ser alimentado por redes organizacionales y relacionales pertenecientes a diferentes niveles geográficos. Ejemplos de tales redes serían las "comunidades de prácticas" y las "comunidades epistémicas". Autores como (Boschma, 2005), (Torre & Rallet, 2005), (Lagendijk & Lorentzn, 2007) desarrollaron distinciones entre tipos de proximidad que serían complementarias y sustituibles entre sí, pero sin que la literatura llegara a un acuerdo sobre la importancia de la proximidad física.

#### 1.4.6. El aprendizaje tecnológico

Actualmente, la dimensión tecnológica en los sistemas de innovación desempeña un papel importante, sus dinámicas requieren de nuevos procesos de innovación y adaptación de acuerdo con las diferentes condiciones que presentan, por ejemplo, la región y sus agentes, las dinámicas de aprendizaje (en lo sucesivo LD) y el dominio del conocimiento para desarrollar innovaciones propias y autóctonas.

En un sistema de innovación, las LD requieren de la construcción y acumulación de las capacidades de innovación en la región y supone construir trayectorias de aprendizaje tecnológico que dependen sig-

nificativamente de las características de la región así como de sus agentes. Tales características pueden facilitar o limitar el desarrollo, pero, en cualquier caso, estas trayectorias determinarán las diferencias de cada región (Lundvall, Intarakumnerd, & Vang, 2006). En esta perspectiva surge el aprendizaje tecnológico, (*technology learning*), constituido por dos niveles: el nivel individual y el nivel organizacional (Simon, 1996).

El aprendizaje tecnológico es identificado como un proceso para adquirir capacidades de tipo tecnológico (Lall, 1980). Tales capacidades se entienden como la adquisición de conocimiento, destrezas, experiencia y relaciones por parte de las personas y la organización (Bell, 1984), de forma que esta quede en condiciones de dominar y dirigir el cambio tecnológico en aquellos campos identificados por la empresa como de interés estratégico o táctico. Robledo (2010; 2013) enfatiza en la necesidad de realizar investigación adicional para entender la dinámica de los procesos de aprendizaje y la acumulación de capacidades tecnológicas en el ámbito empresarial (Freeman, 1987; Lundvall, 1988; Nelson, 1993; Edquist, 2001), y afirma:

Son de vital importancia las relaciones que las empresas establezcan con su entorno socioeconómico, de orden nacional, regional y local; por ello se requiere que las dinámicas del desarrollo tecnológico y la innovación sean entendidas desde una perspecti-

va sistémica que revele la multiplicidad de agentes, la complejidad de las relaciones y la naturaleza social de los procesos de aprendizaje tecnológico. (Robledo, 2013, p. 17).

La literatura especializada de los distritos industriales y los SRI plantean pocas intervenciones y estudios acerca de cómo los nuevos procesos de innovación y aprendizaje emergen o surgen, cómo, cuándo y dónde evolucionan estos sistemas, siendo necesarios nuevos planteamientos y acercamientos teóricos conjugados con metodologías que permitan una mejor comprensión de dichos fenómenos (Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006).

Según Albino, Carbonara y Giannoccaro (2006), las razones que subyacen la competitividad en los distritos industriales han sido profundamente estudiadas en la literatura, adoptando diferentes perspectivas teóricas procedentes de corrientes de investigación como las ciencias sociales, la economía regional, la económica geográfica, la economía política y la organización industrial, desarrollando diferentes conceptos y modelos e identificando y haciendo hincapié cada uno de ellos en aspectos diferentes y complementarios. Sin embargo, la mayoría de ellos reconocen las capacidades de innovación como uno de los principales factores de éxito en la ventaja competitiva sostenible de los SRI.

Por último, la abundante literatura en el campo de la estrategia se inclina por la

reflexión y comprensión de las causas que explican que algunas organizaciones inmersas en los sistemas de innovación tienen éxito o mejor desempeño económico cuando otras fracasan, aunque algunos omiten la problemática evolutiva del aprendizaje interactivo y el papel del proceso cognitivo que acompaña al tomador de decisiones. Según Montoya (2010), muchos académicos han vislumbrado esta problemática teórica, por lo cual se han realizado importantes trabajos para comprender los procesos de aprendizaje a través de la acumulación de las capacidades (Katz, 1986; Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday, 1997; Erns et al., 1998; Dutrénit, 2000; Lundvall, 2007; Lundvall & Vinding, 2007; Lund, 2007; Helfat et al., 2007) y la formación de la estrategia como un fenómeno cíclico, o como un fenómeno asociado al aprendizaje (March & Simon, 1959; Cyert & March, 1999; Mintzberg, 1978; 1987; Prahalad & Hamel, 1990).

El marco teórico del aprendizaje en los sistemas de innovación señala la necesidad de abordar el fenómeno del aprendizaje desde nuevos enfoques y sus metodologías, dado que actualmente existe en la literatura de los SRI, por ejemplo, una crítica por su sesgo hacia la teorización que va en detrimento de los estudios empíricos (Mackinnon, Cumbers, & Chapman, 2002). Además, muchos estudios ofrecen generalmente una foto estática de agentes e instituciones, en lugar de presentar procesos de ajuste y sus dinámicas que permitan estudios longitudinales tomando en

consideración funciones, roles y relaciones de los diferentes actores del sistema (Doloreux, 2002; 2005; Mackinnon, Cumbers, & Chapman, 2002; Uyarra, 2010; Uyarra & Flanagan, 2010).

### 1.5. El aprendizaje producto de la interacción entre agentes en los SRI, los modelos y su evolución

Los modelos de innovación territorial conocidos en la literatura por su sigla en inglés como "TIM" (en adelante MIT), son modelos de innovación regional en el que las dinámicas de las instituciones locales desempeñan un papel importante como catalizadores o aceleradores en las estrategias del desarrollo innovador en la región. La mayoría de estos modelos abordan aspectos que relacionan el desarrollo con la innovación como, por ejemplo, el *core* de las dinámicas de innovación, el papel de las instituciones, el desarrollo regional, la cultura, los tipos de relaciones entre los agentes y el ambiente (Moulaert & Mehmood, 2010). Sin embargo, estos modelos presentan escasa evidencia acerca de los efectos de estas dinámicas en los procesos de innovación y el aprendizaje localizado. La literatura especializada identifica principalmente tres familias de modelos que se presentan a continuación (ver Tabla 1-1).

Los diferentes modelos que presenta la literatura y que se enmarcan como MIT, son descritos como fuentes de conocimiento

conjuntamente con sus flujos, traduciéndose en avances comerciales y desarrollo económico (Padmore, Schuetze, & Gibson, 1998) como un marco de análisis para las regiones. Estos sistemas son observados como cadenas globales que dan valor (Padmore & Gibson, 1998; Chaminade & Vang, 2008), así como modelos que presentan propiedades (simplicidad, flexibilidad y estructuras simétricas) que ayudan a los responsables y ejecutores de política a visualizar su papel en el sistema.

Tabla 1-1. Modelos de innovación territorial

MODELOS				
<b>Característica de la innovación</b> (Nelson & Rosenberg, 1993; Lundvall B.-A., 1992; 2007)	<b>Milieu Innovateur (GREMI)</b> (Aydalot, 1986)	<b>Distrito Industrial</b> (Marshall, 1919; Becattini, 1987; Becattini, 1989; Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006)	<b>Sistema Regional de Innovación</b> (Edquist C., 1997; 2005; Cooke, 2001; Cooke & Memedovic, 2006)	<b>Nuevos espacios industriales</b> (Storper & Scott, 1988; Saxenian, 1994)
<b>Core de las dinámicas de innovación</b>	Capacidad de la firma para innovar con agentes del mismo espacio o <i>milieux</i>	Capacidad de los actores para poner en práctica la innovación en un sistema de valor común	Capacidad de los agentes para innovar a través de un proceso interactivo, acumulativo, y específico de I+D ( <i>pathdependency</i> )	Resultado de la I+D y aplicación de nuevos métodos de producción (just-in-time, CAD, CAM)
<b>Rol de las instituciones</b>	Importante rol de las instituciones en el proceso de investigación (universidades, firmas y agencias públicas)	Las instituciones son "agentes" y permiten la regulación social, el fomento de la innovación y el desarrollo	Varían según los autores. Sin embargo, hay consenso en que presentan regulación de su conducta dentro y fuera de las instituciones	Regulación social para la coordinación de las transacciones entre firmas y la dinámica de la actividad empresarial
<b>Desarrollo Regional</b>	Territorio basado en ambientes Millieu y en la capacidades de los agentes para innovar en una atmósfera de cooperación	Territorio basado en la solidaridad territorial y flexibilidad de los distritos. La flexibilidad es un elemento de la innovación	Región basada en un sistema de aprendizaje mediante la interacción, regulación dirigida por un ente público ( <i>Governor</i> )	Interacción entre la regulación social y los sistemas de producción aglomerados
<b>Cultura</b>	Cultura de confianza y enlaces de reciprocidad	Compartición de valor entre los agentes del distrito, confianza y reciprocidad	La fuente es "LBI",	Cultura de creación de redes y de interacción social

Continúa

MODELOS				
<b>Tipos de relaciones entre agentes</b>	El espacio como soporte y apoyo para las relaciones estratégicas entre las firmas, socios, proveedores y clientes	La red como un modo de regulación social y una fuente de disciplina, esto permite una coexistencia de la cooperación y la competencia	La red es un modo de organización de "aprendizaje interactivo"	Transacciones entre firmas
<b>Tipos de relaciones con el ambiente</b>	Capacidad de los agentes para modificar su comportamiento de acuerdo con los cambios en su ambiente. Relaciones muy ricas en las dimensiones del uso del espacio	Relaciones con el medio ambiente imponen algunas restricciones y nuevas ideas, los agentes deben ser capaces de reaccionar a cambios del ambiente, las relaciones son ricas pero existe una visión espacial del medio ambiente limitada	Balance interno entre las relaciones específicas y las limitaciones del medio ambiente. Relaciones ricas	Dinámicas de formación comunitaria y reproducción social

Fuente: Adaptado de (Moulaert & Mehmood, 2010)

En los MIT, la funcionalidad ha recibido una atención considerable, tanto en lo académico como en el contexto de formulación de políticas. No obstante, el fenómeno no ha sido totalmente cubierto todavía de una manera más sistemática y práctica, posiblemente debido a razones teóricas o metodológicas. Algunos autores han introducido el problema estructural (Leydesdorff & Fritsch, 2006; Lengyel & Leydesdorff, 2011; Leydesdorff, 2012) y su aproximación desde los mínimos cuadrados (Chen & Guan, 2011) con el fin de introducir e incorporar diversas construcciones funcionales y así determinar el rendimiento de los sistemas de innovación y su eficiencia (Guana & Chen, 2012).

Otros modelos realizan análisis de datos multivariados para establecer tipologías (Buesa, Heijs, Martinez, & Baumert, 2006; Buesa, Heijs, & Baumert, 2010) y comprender las dinámicas de las diferentes regiones estudiadas (King & Burgess, 2006). Algunos modelos se han estructurado en el marco conceptual de referencia de la función de producción, otros se estructuran como modelos conceptuales que ayudan a comprender los factores determinantes de la aparición de los sistemas de innovación (Radosevic, 1999). Existe evidencia de construcción de modelos y sus procesos evolutivos como es el caso de los modelos multiagentes, quienes simulan procesos de innovación de carácter tecnológico (Ma & Nakamori, 2005).

Los modelos de los procesos de aprendizaje en los sistemas de innovación han evolucionado de forma significativa; los estudios empíricos han abordado el camino de las redes sociales como redes de aprendizaje (Bauer & Snow, 1996; Gilbert, Pyka, & Ahrweiler, 2001; Gilbert, Ahrweiler, & Pyka, 2007; Pyka, Gilbert, & Ahrweiler, 2009; Padgett, McMahan, & Zhong, 2009; Cantner, Meder, & terWal, 2010; Musiolik, Markard, & Hekkert, 2012) y los determinantes que conllevan a las innovaciones, de acuerdo con los tipos específicos de interacciones del conocimiento (Todtling, Lehner, & Kaufmann, 2009; Sarvan, et al., 2011), permitiendo determinar la eficiencia en dichos sistemas (Fritsch & Slavtchev, 2011).

El aprendizaje como un fenómeno emergente en los sistemas de innovación es abordado también por la literatura desde la perspectiva de la inteligencia colectiva (Kapetanios, 2008; Schut, 2010; Lykourantzou, Papadaki, Vergados, Polemi, & Loumos, 2010). Los sistemas de innovación, por su naturaleza, son de carácter complejo, llevando a los investigadores a clasificar dichos sistemas como aquellos de los que se pueden adaptar a entornos inciertos y desconocidos. De la misma manera, estos sistemas se pueden organizar de forma autónoma, exhibiendo comportamientos emergentes y clasificando estos sistemas como sistemas de multiagentes, adaptativos complejos o de inteligencia de enjambre, como lo son los sistemas de autoorganización. Del mismo modo, estos

sistemas son considerados como sistemas de inteligencia colectiva, presentando las características típicas de los sistemas complejos (Amaral & Ottino, 2004). La adaptación, la autoorganización y la emergencia, son características de los sistemas complejos; sus propiedades y mecanismos son abordados en la literatura por múltiples autores (ver, por ejemplo, Holland & Miller, 1991; 1995; Axelrod R., 1996; Bonabeau, Dorigo, & Theraulaz, 1999; Axtell, 2000; Heylighen, 2001, entre otros).

Recientemente, la literatura del aprendizaje bajo el paradigma ABM, presenta una alternativa de método al aprendizaje evolutivo y social (Van Mierlo, Leeuwis, Smits, & Klein, 2010), representado en el intercambio de producción y riesgo como aprendizaje individual en un medio ambiente que resulta ser de carácter estocástico (Arifovic & Karaivanov, 2010). Igualmente, desde el mismo paradigma, algunos modelos vienen representando las dinámicas de los procesos que intervienen en la innovación y el aprendizaje (Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2004; Pyka & Scholz, 2008; Pyka, Gilbert, & Ahrweiler, 2009; Padgett, McMahan, & Zhong, 2009; Triulzi, Scholz, & Pyka, 2011). Sin embargo, estos modelos presentan algunas limitaciones, entre las cuales las más relevantes tienen que ver con la racionalidad limitada de los agentes, los efectos de su posición geográfica y las fuerzas del *market pull*.

Los mecanismos de aprendizaje pueden variar ampliamente dentro de las diversas

formas de gobernanza de las cadenas globales de valor, ello producto del resultado de la presión para alcanzar estándares internacionales, o por la participación directa de los líderes de la cadena de valor cuando la competencia de los proveedores es baja y el riesgo de incumplimiento es alto (Pietrobelli & Rabellotti, 2011). Hay evidencia de modelos de crecimiento endógeno donde los cambios en la oferta de la mano de obra afecta el aprendizaje mediante la práctica y la adopción de los costos de las tecnologías, lo que, a su vez, influye en el sesgo del conocimiento tecnológico y por lo tanto en la desigualdad salarial (Afonso & Leite, 2010).

Algunos modelos que abordan la relación entre aprendizaje e innovación son discutidos en la literatura como la incorporación de la relación del aprendizaje entre el flujo de conocimiento y el *stock* de conocimiento. Como resultado de estos modelos, se puede observar que el intercambio de información y la construcción de sentido común (el flujo de conocimiento), son positivamente derivados de la relación específica de la memoria (*stock* de conocimientos), relacionados indirectamente por la exploración y explotación de la innovación a través de sus efectos sobre la relación específica de la memoria (Fang, Fang, Chou, Yang, & Tsai, 2011).

Los conceptos de innovación y de aprendizaje como propiedades emergentes están siendo abordados en la actualidad bajo el

enfoque del paradigma de la modelación basada en agente (en lo sucesivo ABM). Las interacciones sistémicas de conocimientos entre los agentes heterogéneos son cruciales para la generación de recombinantes y nuevos conocimientos tecnológicos y la introducción de estos como innovaciones (Antonelli & Ferraris, 2011). Este enfoque juega un papel crucial en la evaluación de las posibilidades que las distintas firmas tienen para introducir innovaciones, calificando el acceso al conocimiento externo como un insumo indispensable junto con el aprendizaje interno y las actividades de investigación para la generación de nuevo conocimiento recombinante.

Varios de los modelos mencionados anteriormente y sus métodos convencionales de análisis, evidencian dificultades a la hora de describir dinámicas complejas como los procesos de aprendizaje interactivo y, por lo tanto, resulta necesario usar mecanismos de análisis alternativos como las simulaciones. Los hallazgos del marco teórico y las evidencias en el estado del arte, permitieron trabajar bajo la hipótesis de un modelo que ayude a una mejor comprensión del aprendizaje y sus patrones en un SRI; dichos patrones ayudarán a conducir y a orientar estrategias de política con el fin de mejorar el desempeño innovador del sistema. A continuación se presentan los enfoques metodológicos más relevantes y sus métodos convencionales de análisis en la modelación y simulación de los sistemas de innovación.

## 1.6. Enfoques metodológicos de modelación y simulación en los SRI

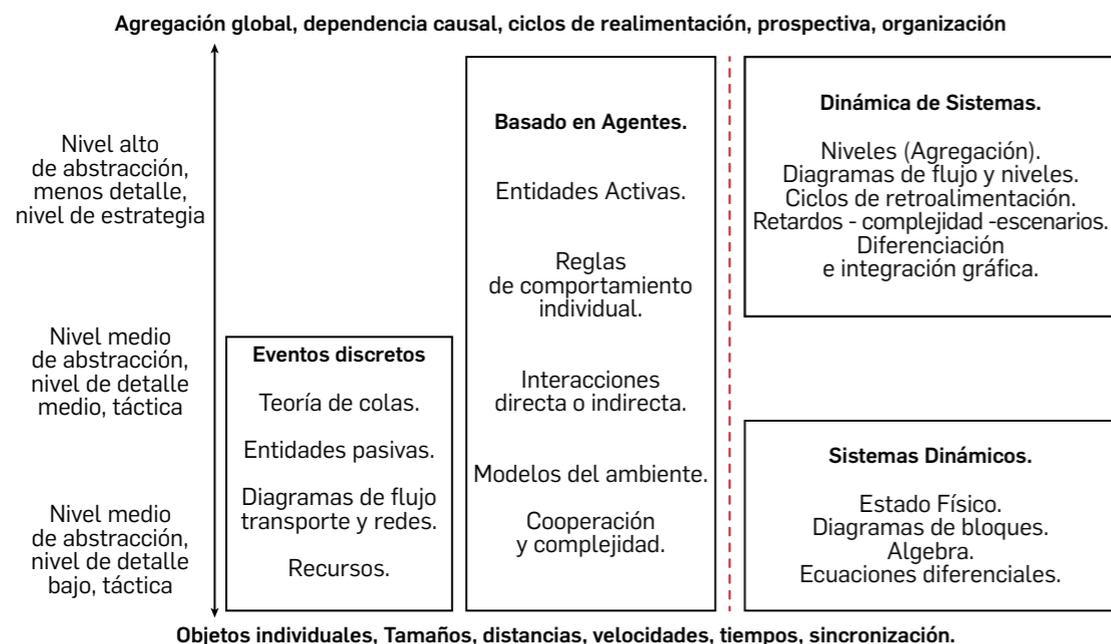
Los modelos que abordan los diferentes fenómenos en los SRI presentan diferentes enfoques metodológicos. Algunos han permitido la construcción de teoría (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007) y han proporcionado una mayor operacionalización de los conceptos en los sistemas de innovación. Resulta importante particularizar en el concepto universal de sistema, en vista de que hace referencia a un conjunto de elementos relacionados entre sí para el logro un objetivo en común como mínimo (Checkland, 1993; Forrester, 1994; Sterman, 2000). En este sentido, puede precisarse que un SRI es la infraestructura institucional inmersa en la estructura productiva de una región (Asheim & Gertler, 2005) integrada por varios subsistemas de actores o agentes (Tödtling & Trippl, 2005) implicados en un aprendizaje interactivo (Lundvall, 1985; 1988; 1992), y cuyo objetivo común es desempeñar un propósito específico desde las funciones de generación, difusión y uso del conocimiento (Howells J., 1999) con miras a influir, apoyar o reforzar el proceso innovador, así como las políticas en una región determinada (Cooke & Memedovic, 2006).

En muchos casos, el número de elementos y las relaciones constitutivas hacen que los sistemas resulten altamente complejos (O'Connor & McDermott, 1998). La simulación permite realizar análisis y concluir sobre el

comportamiento de los sistemas complejos, es decir, en los casos donde el ser humano está limitado en el procesamiento de grandes volúmenes de información, donde el planteamiento de problemas y la solución de los mismos de forma analítica es inviable y muy especialmente donde la experimentación es costosa de realizar (Sterman, 2000).

Diferentes enfoques de modelación y simulación se han encontrado en la literatura actual, clasificándose en cuatro grandes bloques. Un primer bloque es el de simulación discreta o basada en eventos (*SBE*); un segundo bloque es el de la simulación continua o dinámica de sistemas (*DS*); el tercer bloque abarca la simulación basada en agentes (*SBA*); y el cuarto bloque es el de la simulación para sistemas dinámicos (*SD*). Estos modelos presentan diferentes niveles de abstracción y permiten resolver problemas del mundo real.

La modelación y la simulación son métodos apropiados para entender aquellos sistemas complejos donde la dinámica temporal es importante. Borshchev y Filippov (2004) ilustran diferentes paradigmas y enfoques de simulación de acuerdo con el grado de abstracción del fenómeno a modelar (ver Figura 1-3, página siguiente). Sin embargo, los usos de la simulación no solo incluyen la descripción y observación de los fenómenos sino también aquellos resultados que emergen de las relaciones complejas que presentan ciertos sistemas, por ejemplo los procesos de aprendizaje interactivo en los SRI.



Fuente: Adaptado de (Borshchev & Filippov, 2004).

Figura 1-3. Los enfoques de modelación y simulación

Según Borshchev y Filippov (2004), un primer nivel de abstracción denominado como alto, representa un tipo de agregación denominada global; este nivel, a su vez, presenta dependencia causal y no lineal entre sus variables, pudiéndose observar ciclos de realimentación que definen la estructura del sistema y cuya intención es observar el comportamiento del sistema u organización en el largo plazo. En este nivel de abstracción se puede observar la *SBA* y la *DS* utilizadas para resolver problemas de sistemas complejos asociados a fenómenos como la planeación estratégica y el aprendizaje sobre mercados, mano de obra, economía y salud, administración de proyectos de investigación y desarrollo, dinámicas poblacionales, ecosistemas, gestión de tecnología y energía, negociación y cooperación, entre otros.

En un segundo nivel intermedio de abstracción, de más detalle y menos global, se observa la *SBE* y la *SBA* (ver Figura 1-3). Estos tipos de simulación permiten llevar estrategias de planeación y aprendizaje a tácticas y objetivos con los cuales se puedan resolver problemas asociados a cadenas de suministro, transporte y movilidad, centros de llamadas, de-

partamentos de emergencias, tráfico, administración de la calidad, nodos y redes, entre otros (Borshchev & Filippov, 2004).

Un tercer nivel de detalle y operación de los sistemas es el nivel de abstracción más bajo; allí puede observarse el modelamiento y la simulación para sistemas dinámicos utilizado para lograr objetivos estratégicos a través de acciones de control e intervención física sobre los sistemas reales. En este grado de detalle predominan aspectos determinísticos con gran cantidad de detalle y conocimiento sobre objetos individuales y sus características particulares como la velocidad, la distancia, el tiempo y el tamaño, entre otras. Algunas aplicaciones de esto se pueden observar en los modelos de logística de almacenes de cadena considerando almacenamiento, transporte, carga y descarga en operaciones. Esto permite resolver problemas asociados al *hardware* del computador, almacenamiento, tráfico a pequeña escala - control de automóviles, movimiento peatonal, entre otros (Borshchev & Filippov, 2004).

Actualmente, la literatura especializada en gestión empresarial presenta un interés creciente en la simulación como aproximación metodológica para el desarrollo teórico en temas relacionados con la estrategia y las organizaciones (Robledo, 2013), esto debido a que la simulación revela los resultados de la interacción entre múltiples procesos organizacionales y estratégicos

desarrollados en el tiempo (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007). En su trabajo sobre la simulación como método para desarrollo de teorías de organización y estrategia, Davis, Eisenhart y Bingham (2007) realizan una comparación de los diferentes métodos de simulación (ver Tabla 1-2, página siguiente). No obstante, no incluyen la técnica de la SBA. Una descripción comparativa de los diferentes métodos de simulación realizada por estos autores, permite observar aspectos importantes como las preguntas más comunes de investigación, los supuestos claves, la lógica teórica y los experimentos que usualmente se realizan.

La SBA y sus modelos se aplican en la actualidad como una metodología de estudio en varias áreas relacionadas con el contexto organizacional (Lättilä, Hilletoft, & Lin, 2010), lo que ha permitido estudiar la emergencia a nivel macro de los patrones de comportamiento de un sistema a partir de las interacciones de agentes semiinteligentes a nivel micro. Bajo este paradigma de modelación y simulación, la información y el conocimiento de los agentes respecto a otros agentes y al ambiente son limitados. Los agentes (individuos, organizaciones, sistemas etc.) pueden colaborar, competir, coordinar, compartir e interactuar entre sí, así como con el ambiente en el que se desempeñan. De esta manera puede emerger del sistema inteligencia colectiva que de otro modo no surgiría por efecto de las acciones aisladas de los agentes.

Tabla 1-2. Enfoques comparativos de los métodos de simulación

Enfoque de simulación	Foco	Pregunta(s) de investigación	Asuntos Claves	Lógica Teórica	Experimentos comunes
<b>Dinámica de sistemas</b> (Sastry, 1997; Sterman, Repenning, & Kofman, 1997; Repenning, 2002; Rudolph & Repenning, 2002)	Comportamiento de un sistema complejo con causalidad y medida del tiempo	¿Qué condiciones crean inestabilidad en el sistema?	- Sistema de intersección, bucles causales circulares. - Acumulación de niveles que se disipan en el tiempo. - Flujos que especifican tasas del sistema.	- Descripción - Entradas a un sistema interconectado por bucles, stocks y flujos que producen los resultados del sistema.	- Añadir bucles causales - Cambio de tasas de flujo. - Cambio en la variación de tasas de flujo.
<b>Paisajes adaptativos de tipo NK</b> (Levinthal, 1997; Gavetti & Levinthal, 2000; Rivkin & Siggelkow, 2003)	Velocidad y eficacia de adaptación de sistemas modulares versus el acoplamiento a un punto óptimo.	¿Cuánto tiempo se toma para encontrar el punto óptimo?  ¿Cuál es el rendimiento del punto óptimo?	- Sistema de N nodos y K acoplamiento. - Paisaje adaptativo que mapea el rendimiento de todas las combinaciones. - Adaptación vía movimientos incrementales y longitudinales.	- Optimización. - Adaptación de un sistema modular usando estrategias de búsqueda (es decir: movimientos incrementales y saltos largos) para encontrar un punto óptimo.	- Variar N y K - Cambios en la adaptación añadiendo mapa del paisaje. - Generar cambios bruscos o shocks en el medio.
<b>Algoritmos genéticos</b> (Holland, 1975; Holland & Miller, 1991; Goldberg, 1989; Bruderer & Singh, 1996; Zott, 2002)	Adaptación de una población de agentes vía aprendizaje simple para una forma óptima del agente.	¿Qué afecta la tasa de adaptación (aprendizaje o cambio)  ¿Cuándo emerge una forma óptima?	- Población de agentes y genes. - Variación vía mutación (errores) y cruce (recombinación) - Selección mediante aptitud (desempeño) - Retención vía copia de agentes seleccionados.	- Optimización. - Adaptación de una población de agentes utilizando un proceso evolutivo hacia una forma de agente óptimo. - Variación, selección y retención.	- Variación en la probabilidad de mutación y cruce. - Variación en el tiempo de evolución. - Creación de shocks ambientales.

Continúa

Enfoque de simulación	Foco	Pregunta(s) de investigación	Asuntos Claves	Lógica Teórica	Experimentos comunes
<b>Autómatas celulares</b> (von Neumann, 1979; Lomi & Larsen, 1996)	Aparición de macro modelos a partir de micro interacciones a través de procesos (difusión, propagación y competencia) espaciales en una población de agentes.	¿Cómo emerge el patrón y el cambio. ¿Qué tan rápido emerge un patrón? ¿Cuál es el grado (espacial) en que los agentes se influyen unos a otros (distancias a las que están situados)	- Población de agentes organizados espacialmente y semi-inteligentes. - Agentes utilizan reglas (local y global) para la interacción, algunos basados en procesos espaciales. - Vecindario de agentes donde se aplican reglas locales.	- Descripción. - Las interacciones entre los agentes siguen reglas que producen patrones de nivel macro.	- Cambio de reglas. - Cambio del tamaño del vecindario.
<b>Agents Based Models (ABM)</b> (Holland, 1992; 1995; Axelrod R., 1996; Epstein & Axtell, 1996; Holland., 2004; Axelrod & Lesfation, 2005)	Emergencia a nivel macro de patrones de comportamiento de un sistema a partir de interacciones de agentes autónomos del nivel micro	¿Cuáles son los efectos que producen los patrones de comportamiento en el conjunto del sistema? ¿Qué tan rápido emerge un patrón y cuál es su evolución en el tiempo? ¿Cómo se adaptan y aprenden los agentes?	Población de agentes, variables globales, propiedades de la población de agentes, reglas de decisión para la interacción, evolución en el tiempo, agregación, adaptación y aprendizaje. Inteligencia colectiva y racionalidad limitada.	Descripción de agentes, emergencia a partir de interacción o colaboración entre agentes, agregación, no linealidad, flujos y diversidad, etiquetas, modelos internos y bloques de construcción.	Cambio de reglas, variación en las características de los agentes y entorno, variación de agentes en el tiempo, variación en las características de los agentes (especialización)

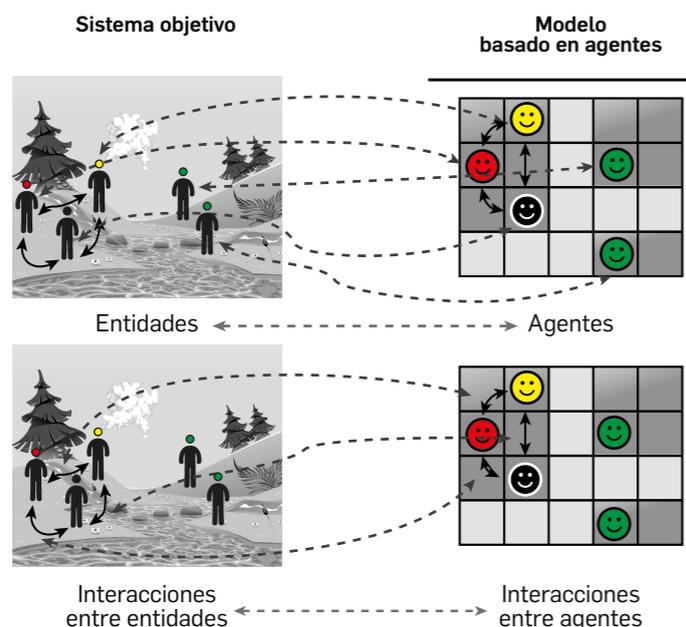
Fuente: Elaboración propia a partir de (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007)

### 1.7. La simulación basada en agentes (SBA)

La SBA ha demostrado ser una técnica útil para modelar los sistemas complejos, y muy especialmente los sistemas sociales (Gilbert, 2008) como los sistemas de innovación. Mediante la simulación basada en agentes, se reconoce explícitamente que *los sistemas complejos y, en particular, los sociales, son producto de comportamientos individuales y de sus interacciones*. La SBA se diferencia de otras técnicas de modelación en la forma en

que se construye la primera abstracción del sistema real y, consecuentemente, el modelo formal como se esquematiza en la Figura 1-4. Los ABM presentan sus componentes básicos del sistema explícitamente y se caracterizan por tener varios agentes que son en mayor o menor grado autónomos, heterogéneos e independientes en sus objetivos, y generalmente capaces de interactuar entre sí y con su entorno.

Estos sistemas se caracterizan por la presencia de una gran cantidad de agentes, que pueden evolucionar a lo largo del tiempo para adaptarse a nuevas condiciones del entorno o a nuevos objetivos. En particular, la simulación basada en agentes es relevante en sistemas complejos con las siguientes características: sistemas que presentan componentes individuales y heterogéneos (Axtell, 2000), adaptativos (Holland, 1992; 2004) y donde el espacio geográfico puede tener una influencia significativa (Howells, 1999; Iammariño, 2005; Uyarra, 2010), con presencia de redes sociales interactivas (Pyka, Gilbert, & Ahrweiler, 2007; 2009; Triulzi, Scholz, & Pyka, 2011) y en los que se desea analizar en profundidad la relación existente entre los atributos y comportamientos de los individuos a nivel micro, frente a las propiedades globales del grupo a nivel macro (Gilbert, 2008; Squazzoni, 2008).



Fuente: (Izquierdo, Galán, Santos, & Olmos, 2008).

Figura 1-4. Componentes básicos de un sistema real y las interacciones entre agentes

La metodología SBA ha sido utilizada ampliamente para modelar sistemas de múltiples disciplinas científicas, partiendo de reglas que determinan el comportamiento individual de los agentes y donde se pretende inferir en las propiedades globales de todo el sistema (Holland, 2004). Uno de los puntos más importantes de la simulación basada en agentes es la emergencia. Este fenómeno surge a partir de patrones de nivel micro a partir de las interacciones de los agentes en el sistema (Holland, 1992). Los fenómenos emergentes se caracterizan por que su aparición no resulta evidente a partir de una descripción del sistema. Sin embargo, la especificación del comportamiento de los agentes y sus reglas de interacción nos permite conocer cómo emergen tales fenómenos (Gilbert, 2008).

El objetivo de los modelos basados en agentes (ABM) es encontrar abstracciones apropiadas que describan los componentes básicos del sistema y sus interacciones. No se buscan abstracciones con el fin de observar directamente la dinámica global del sistema. Esta técnica de modelado es particularmente útil para simular y modelar procesos emergentes de forma natural con el fin de enriquecer el conocimiento de dichos comportamientos. La técnica no tiene por objetivo proporcionar una representación precisa de algún proceso empírico (Axelrod, 2007).

## 1.8. Modelos de interacción entre agentes heterogéneos en los procesos de innovación y aprendizaje

La revisión de la literatura identificó los principales de modelos basados en agentes, los cuales buscan aumentar la comprensión de los efectos que tienen en la innovación y el aprendizaje la interacción de diferentes tipos de agentes. Estos modelos fueron reconocidos como fuentes útiles para formular una nueva propuesta que permita analizar el aprendizaje en los SRI: el modelo *SKIN* (*Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks*), el modelo de la producción económica inspirado en la química o modelo de los hiper-ciclos y el modelo *SSRIS* (*Self-Sustaining Regional Innovation System*). Estos modelos se revisarán a continuación respecto a sus principales supuestos y limitaciones; luego serán integrados y superados respectivamente para la formulación de una nueva propuesta del modelo desarrollado en esta investigación.

### 1.8.1. El modelo SKIN

El modelo *SKIN* "*Simulating Knowledge Through Innovation Networks*" fue desarrollado originalmente por Gilbert, Pyka y Ahrweiler (2001), y luego afinado, complementado y modificado en los trabajos posteriores de Ahrweiler, Pyka y Gilbert (2004); Gilbert, Ahrweiler y Pyka (2007);

Pyka y Scholz (2008); Pyka, Gilbert y Ahrweiler (2007; 2009); Ahrweiler, Pyka y Gilbert (2011); Triulzi, Scholz y Pyka (2011). El modelo representa las dinámicas de los procesos que intervienen en la innovación en las modernas industrias del conocimiento.

El modelo tiene por objetivo combinar la perspectiva sociológica y la economía evolutiva describiendo agentes heterogéneos que representan acciones individuales y sus diversos *stocks* de conocimiento, simulando las dinámicas de intercambio de conocimiento que ocurren en las redes de innovación así como la incertidumbre, el cambio histórico, el efecto de la insuficiencia o fallo en una población de agentes y el aprendizaje por la experiencia producto de la investigación individual o de socios colaboradores.

El funcionamiento del modelo representa las posibilidades que tienen los actores de ampliar su base de conocimientos, pudiéndolo hacer gracias al aprendizaje que se obtiene al realizar proyectos de *I+D* individual o por cooperación y alianzas con otros agentes. La base de conocimientos de los agentes es descrita por un vector que contiene unidades de conocimiento llamadas *kenes*. Cada *kene*, es representado por un vector  $[C-A-E-RD]$ , dicho vector está compuesto por una capacidad (*C*) que es un dominio de conocimiento o una disciplina tecnológica; una habilidad (*A*), la cual se refiere a la destreza particular en dicha *C*; una experticia (*E*) adquirida por la utiliza-

ción de la *C*, y una dirección de la investigación (*RD*), la cual indica si la investigación es básica o aplicada.

La dinámica del modelo se resume así: los agentes tienen un presupuesto de inversión en proyectos de *I+D*, el cual es asignado como un porcentaje de las ventas obtenida por los agentes en la etapa anterior. Los agentes pueden ser universidades o centros de investigación, pymes y grandes empresas, las cuales deciden si hacer el gasto del presupuesto de *I+D* en proyectos individuales o en alianzas. Los resultados de estos proyectos tienen una probabilidad de éxito, que depende de la distancia entre las *C* de los *kenes* utilizados. Cuando estos *kenes* son cercanos (dominio de conocimiento similar) la probabilidad de éxito es mayor y se considera como una innovación incremental con beneficios inferiores; mientras que si los *kenes* son lejanos (dominio de conocimiento diferente) su probabilidad de éxito es menor y se entiende como una innovación radical con beneficios superiores.

Cuando el proyecto es exitoso se obtiene una patente; si la consigue una universidad o centro de investigación, obtendrá beneficios por el licenciamiento y un aumento en *A* y en *E* de las respectivas capacidades *C* del *kene*, lo cual le puede significar mayores recursos por patrocinios privados y/o inversión pública. En el caso de ser una patente otorgada a una o varias empresas, estas obtendrán unos beneficios gracias a la explotación de la patente, la

cual aumenta las ventas y, por lo tanto, la asignación de presupuesto para proyectos de *I+D*. El aprendizaje de los agentes se ve reflejado en el aumento de la *A* y la *E* de las capacidades *C* de los *kenes* que son utilizados y, de forma similar, en el caso de proyectos conjuntos, se aprende de los *kenes* aportados por los socios.

A pesar de la utilidad del modelo *SKIN* para analizar las relaciones de colaboración entre agentes heterogéneos, especialmente a través de los experimentos de simulación y la comparación de resultados de diferentes escenarios, dos de los supuestos del modelo son controvertibles y producen un comportamiento sesgado del sistema. El primer supuesto es el de la probabilidad de éxito de los proyectos de *I+D*, la cual se asigna de acuerdo a la distancia entre las *C* de los *kenes* de los colaboradores involucrados en el proyecto. Este supuesto remite estrictamente a una probabilidad técnica del proyecto y desconoce qué tan cercano o lejano podría estar el proyecto para satisfacer una demanda del mercado. En otras palabras, el modelo se ha inclinado hacia perspectivas *technology push* (Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2004; Triulzi, Scholz, & Pyka, 2011), dejando de lado un componente significativo de *market pull*, lo cual lo aparta de la mayoría de las dinámicas de innovación las cuales presentan tendencias a privilegiar los modelos de innovación articulados, integrados y sistémicos sobre los modelos lineales como lo propone Rothwell (1994).

El segundo supuesto controvertible del modelo *SKIN* es la representación que se hace del aprendizaje interactivo. Los agentes se van apropiando de las capacidades que aportan otros agentes que interactúan con ellos en los proyectos. Este comportamiento genera, a medida que los agentes acumulan experiencia colaborativa, una tendencia hacia la homogeneidad de las capacidades de los agentes. Esta situación va en contravía del aprendizaje colectivo propuesto por Cyert y March (1999) y la coespecialización identificada por Teece (1986), y también de la coevolución de los agentes del sistema. Esta coespecialización impulsa el establecimiento de redes de colaboración, a diferencia de la tendencia identificada en el modelo *SKIN* de promover la autosuficiencia de capacidades de los agentes por aprendizaje colectivo.

Por otra parte, el modelo *SKIN* y sus extensiones no tienen en cuenta ningún factor de aprendizaje que podría adoptar el sistema a la hora de acumular o desacumular las experiencias de las capacidades. Además, el tipo de interacción representado hace caso omiso del pasado, un elemento muy importante para los agentes de cualquier sistema de innovación. En otras palabras, las capacidades están profundamente arraigadas en las rutinas organizacionales, las prácticas y las actividades de la empresa (Hafeez, Zhang, & Malak, 2002). Cuando las capacidades han sido significativas a causa de las experiencias y rutinas adquiridas en el pasa-

do son difíciles de olvidar, de igual forma cualquier agente puede propender intencionalmente por usar o no una capacidad; sin embargo, las rutinas juegan un papel importante a la hora de optar por aprender o desaprender en alguna capacidad o habilidad desde una perspectiva estratégica.

### 1.8.2. El modelo de los hiperciclos

Otra aproximación que también ha sido útil para representar la dinámica de interacción entre agentes heterogéneos es la del modelo de los hiperciclos de Padgett, donde se hace una metáfora de los procesos autocatalíticos de la química con la producción económica. El modelo fue desarrollado por Padgett (1997) para luego ser refinado por Padgett, Lee y Collier (2003) y Padgett, McMahan y Zhong (2009) y posteriormente refinado por Watts y Binder (2012). El modelo está soportado en los conceptos teóricos de los hiperciclos de Eigen y Schuster (1979) y el de autocatálisis de Kauffman (1996; 2000).

El modelo se centra en los procesos de producción y aprendizaje entre agentes y describe un símil entre firmas transformadoras de bienes y la química con sus sustancias. El proceso inicia con un insumo que ingresa del entorno, el cual es transformado por agentes que interactúan como una cadena productiva que entrega al entorno un producto final. Estas cadenas se regulan mediante la activación y evolución de los conjuntos de capacidades distribuidas a través de las

firmas. El proceso de aprendizaje resultante es del tipo (*learning-by-doing*), que quiere decir que cada capacidad utilizada se refuerza o es olvidada, ocasionando así una presión de selección en la evolución del sistema de producción que origina lazos que se autoreforzan.

El comportamiento anterior fuerza la pérdida de una capacidad y propicia en algunos casos la muerte del agente; el objetivo de este comportamiento es mantener un volumen de capacidades constante en el modelo, lo que carece de realismo en lo que respecta al aprendizaje por acumulación de capacidades en los sistemas económicos actuales. De igual forma, supedita el éxito o el fracaso de cualquier firma a la historia y trayectoria de sus vecinos.

El modelo de hiperciclos, a diferencia del modelo *SKIN*, introduce el entorno como el validador del proceso de producción, lo que se aproxima mucho más a la realidad. Sin embargo, una de las limitaciones más relevantes del modelo de Padgett es que el entorno siempre está demandando el mismo producto, contrario a lo que pasa en un entorno competitivo real, donde los productos presentan ciclos de vida cada vez más cortos (Bayus, 1997; Krishnan & Ulrich, 2002) y los nuevos productos innovadores ingresan más rápidamente al mercado (Chen, Damanpour, & Reilly, 2010).

Otro supuesto que está fuera del contexto de la realidad es el de limitar la relación de los agentes a una tipología de red "re-

lación solo con sus vecinos", aunque muchos autores de la literatura de sistemas de innovación resaltan la importancia de la localización o cercanía geográfica (Maskell & Malmberg, 1999; Lundvall, 2004; Asheim & Gertler, 2005; Asheim & Isaksen, 2003). Por tanto, estos supuestos debilitan al modelo en un contexto donde se quiere simular el aprendizaje en *SRI*. También es importante reconocer que los agentes, al no encontrar en su cercanía capacidades complementarias, inician una búsqueda de esta complementariedad en agentes heterogéneos más distantes (Belderbos, Carree, Diederen, Lokshin, & Veugelers, 2004). Limitar la interacción a sus vecinos inmediatos no es una condición válida y restringe la capacidad del modelo para representar un *SRI*.

Por último, la representación del aprendizaje producto de la combinación y reproducción de habilidades presenta dos variantes del aprendizaje *Learning by Doing*: el primero, denominado "aprendizaje egoísta", se da cuando una firma inicia y finaliza una transacción exitosa cosechando su recompensa; el segundo, llamado "aprendizaje altruista", se presenta cuando la firma que inicia la transacción exitosa no es quien cosecha su recompensa. Por tanto, tales variantes de aprendizaje son poco reconocidas en la literatura del aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992) de los sistemas de innovación. Por último, los procesos de aprendizaje entre agentes deben tomar un papel crucial, especialmente entre consumidores, productores y competi-

dores (Gilbert, Pyka, & Ahrweiler, 2001), escasamente reflejados en estos modelos de la familia de la producción económica inspirada en la química.

### 1.8.3. El modelo SSRIS (Self-Sustaining Regional Innovation System)

El modelo reciente de (Ponsiglione, Quinto, & Zollo, 2014) que representa un *SRI* autosostenible, presenta algunas mejoras en su construcción a partir de ciertos mecanismos y reglas de comportamiento de los modelos descritos anteriormente (Padgett, 1997; Gilbert, Pyka, & Ahrweiler, 2001; Padgett, Lee, & Collier, 2003; Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2004; Padgett, McMahan, & Zhong, 2009; Ahrweiler, Pyka, & Gilbert, 2011; Watts & Binder, 2012). El modelo tiene por objetivo una mejor comprensión de las características, la estructura y los mecanismos, así como la capacidad de propiciar la autosostenibilidad de los ciclos de innovación.

Este modelo tiene su base conceptual en el modelo de sistema de aprendizaje organizacional de Schwandt y Marquardt (2000) del cual se extraen cuatro bloques de construcción para crear los subsistemas del modelo conceptual (Zollo, Crescenzo, & Ponsiglione, 2011): productores de conocimiento o exploradores, productores de valor en el mercado o explotadores, mediadores de innovación o catalizadores, y creador de marcos y reglas o regulador del sistema. En este modelo los subsistemas o agentes interactúan entre

ellos así como con actores externos. Las características de los actores son las siguientes: los exploradores suministran conocimiento, los explotadores proveen de valor económico, los catalizadores hacen la función de enlaces, y el regulador provee el marco formal y las reglas informales. Desde esta perspectiva y marco conceptual, Ponsiglione, Quinto y Zollo (2014) proponen el modelo *SSRIS* basado en agentes apoyados en algunos mecanismos del modelo *SKIN* y del modelo de hiperciclos expuestos anteriormente.

La propuesta de este modelo solo presenta dos tipos de agentes: un entorno competitivo y unos agentes competidores, que buscan suplir las necesidades del entorno competitivo a través de dos capacidades: de exploración o de explotación. Las principales características del modelo son: 1) un entorno competitivo que en cada periodo tiene una necesidad que requiere ser satisfecha por agentes competidores a través de sus capacidades; 2) unos agentes competidores que poseen unas capacidades; 3) el entorno competitivo compara su necesidad con las capacidades que tienen los agentes competidores y selecciona al agente que tiene las capacidades más cercanas para satisfacer su necesidad a través de un vínculo; 4) el agente seleccionado por el entorno competitivo busca otro u otros agentes competidores que tengan las capacidades que a él le hacen falta para satisfacer la nece-

sidad del entorno competitivo; 5) si entre todos los agentes competidores del mundo virtual no se logra satisfacer la necesidad del entorno competitivo, este cambia su necesidad acercándose a las capacidades de los agentes competidores; 6) al satisfacer la necesidad, los agentes competidores obtienen beneficios del entorno competitivo para seguir interactuando y sobreviviendo; y 7) tanto el entorno competitivo como los agentes competidores, aprenden al modificar sus necesidades y capacidades respectivamente.

De esta forma, los autores plantean un modelo de un *SRI* autosostenible donde, tanto los agentes competidores como el entorno competitivo, se ajustan mediante el aprendizaje para obtener beneficios y suplir sus necesidades respectivamente. El aprendizaje se representa en el cambio de las capacidades de los agentes competidores y de las necesidades del entorno competitivo; en otras palabras, los agentes aprenden del entorno y viceversa. Aunque el modelo representa la importancia del mercado a través de la introducción del agente entorno competitivo, el modelo presenta dos fallencias fundamentales. Primero, por cada periodo de tiempo se cuenta con una sola necesidad generada por el entorno para todos los agentes competidores (caso muy diferente a lo que sucede en el mundo real, donde a cada instante son múltiples las necesidades y sus demandas). Y, segundo, el modelo supone que el entorno compe-

titivo compara su necesidad con todas las capacidades que poseen los agentes competidores, lo que equivale a representar un *SRI* donde la información siempre está disponible, violando así una de las dimensiones de la racionalidad limitada (Simon, 1956; Winter, 2000).

Además de las limitaciones anteriores, la representación de las capacidades de los agentes competidores son determinadas por una representación binaria (existe o no la capacidad), lo que le atribuye el carácter explorador o explotador a cada agente. Dicho de otro modo, el modelo no presenta la posibilidad de que cada agente tenga diferentes capacidades y, menos aún, diferentes niveles de madurez de las capacidades (Lall, 1992; 1993). Tal supuesto es básico para representar el aprendizaje a través de las diferentes etapas de la acumulación de las capacidades (Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday M., 1997; Lundvall B.-A., 2004; 2007; Lund, 2004; Helfat, et al., 2007).

Por último, la limitación anterior acerca de las capacidades, no ayuda en la comprensión de algunos fenómenos emergentes como la especialización, particularmente cuando un agente competidor se especializa de manera integral en sus capacidades, lo que implica que pueda tener el rol y participar en ciclos tan importantes como la exploración y la explotación (Gilsing & Nooteboom, 2006) en un *SRI*. A continua-

ción se presentan los elementos y diferencias principales de cada modelo. (Ver Tabla 1-3, página siguiente)

Los hallazgos en el marco teórico y el estado del arte demuestran que estos tres modelos basados en agentes, a pesar de sus limitaciones, son los que más lejos han llegado en la determinación de algunos patrones de aprendizaje producto de la interacción entre agentes en un sistema de innovación. Sin embargo, estos modelos no permiten reconocer ni evidenciar de manera satisfactoria las dinámicas de aprendizaje presentes en un *SRI*. De igual forma, no se evidencian cuáles patrones de aprendizaje puede adquirir el sistema a través de la acumulación de las capacidades innovación producto de la interacción entre agentes del sistema.

Tabla 1-3. Comparación de los elementos principales de cada modelo

Modelo	Representación del Agente	Entorno	Interacciones	Aprendizaje	Medición del Desempeño
SKIN	<p>Vector compuesto de <math>n</math> <i>kenes</i>: <math>[[c, a, e, rd], [c_2, a_2, e_2, rd_2], \dots, [c_n, a_n, e_n, rd_n]]</math>.</p> <p>Posición: Dominio del conocimiento dado por <math>C</math>, donde la distancia significa lo incremental (cercano) o radical (lejano) de la innovación al combinar los <i>kenes</i> propios o ajenos.</p> <p>Magnitud: <math>C</math> puede ir de 1 a 100 y significa el dominio del conocimiento. <math>A</math> toma valores de 1 a 10 y representa el nivel de habilidad en <math>C</math>, <math>E</math> va de 1 a 10 y simboliza la experiencia acumulada en <math>C</math>, y <math>RD</math> toma valores entre 1 y 10 ejemplificando la dirección de la investigación en <math>C</math>, donde cerca de 1 denota investigación básica y cerca de 10 investigación aplicada.</p>	<p>Se manifiesta únicamente en la probabilidad de éxito que tiene cada proyecto de obtención de una patente, la cual depende de la distancia entre los <i>kenes</i> utilizados, donde se puede obtener una innovación incremental o radical</p>	<p>Pueden ser entre pymes, grandes empresas y universidades, quienes combinan sus <i>kenes</i> en proyectos de <math>I+D</math> que son financiados gracias a sus presupuesto de <math>I+D</math> que proviene de un % de sus ventas del periodo anterior. Cada agente aprende de los <i>kenes</i> que son utilizados en el proyecto. La dificultad para el relacionamiento se da en la orientación de la investigación.</p>	<p>Se modela el aprendizaje (<i>learning-by-doing</i>), al aumentar cada <i>kene</i> una unidad en su <math>F</math> al ser utilizado; y el aprendizaje (<i>learning-by-interacting</i>), al adquirir un <i>kene</i> que no se tenía, el cual fue aportado en un proyecto conjunto por otro agente; cabe anotar que este nuevo <i>kene</i> que aprende el agente inicia con una <math>E</math> de 1.</p>	<p>Se analiza por el nivel del presupuesto para la <math>I+D</math>, el cual equivale a un % de las ventas que se obtienen por nuevos productos fruto de las patentes, en el caso de las pymes y grandes empresas, y por los licenciamientos de las patentes, en el caso de las universidades.</p>
Hiperciclos	<p>Vector de capacidades pares: <math>[[a b], [d e], \dots, [a c]]</math>.</p> <p>Posiciones: 1ª posición significa el tipo de producto que puede procesar el agente y la 2ª significa el tipo de producto que entrega el agente a otro agente vecino o al entorno.</p> <p>Magnitud: representa el número de capacidades que se requieren para llevar un producto final al entorno, generalmente en sus modelos utilizan hasta 5 capacidades.</p>	<p>Brinda a los agentes el insumo inicial y recibe el producto final de los hiperciclos, siendo el mismo para todos los periodos de la simulación</p>	<p>Los agentes solo interactúan con sus vecinos, para generar cadenas productivas que generan una presión de selección al reforzar las capacidades y originando que los lazos se fortalezcan. La dificultad en el relacionamiento se da en la localización, pues solo se vincula con sus vecinos.</p>	<p>El aprendizaje se manifiesta al mantener las capacidades que se usan, mientras que las que no se utilizan se olvidan. En el modelo, presenta dos variantes de <i>Learning by Doing</i>: Aprendizaje egoísta: cuando una firma inicia y finaliza una transacción exitosa cosechando su recompensa; aprendizaje altruista: cuando la firma que inicia la transacción exitosa no es quien cosecha su recompensa. Cuando un agente olvida todas sus capacidades este muere.</p>	<p>Se analiza por la generación de hiper-ciclos que garantizan un buen desempeño económico al poder transformar insumos en productos para el <math>EC</math>.</p>
SSRIS	<p>Vector de capacidades: <math>[a b \dots n]</math>.</p> <p>Posición: no tiene ningún significado especial, simplemente sirve para comparar vectores entre agentes y <math>EC</math> posición por posición.</p> <p>Magnitud: puede ser en cada posición de -1, 0, 1, donde -1 significa que es una capacidad exploradora, 1 que la capacidad es explotadora y 0 que no se cuenta con la capacidad.</p>	<p>Es un <math>EC</math> que lanza un mensaje que busca ser aprovechado con las capacidades de los agentes competidores del micromundo, este mensaje compara su vector con el de todos los agentes y se va ajustando hasta que puede ser aprovechado. Se manifiesta mediante un vector colmado de -1 y 1.</p>	<p>La relación se da por la complementariedad en sus capacidades, no existe algo que restrinja la vinculación entre agentes, especialmente porque los agentes conocen todas las capacidades de los otros, incluyendo el <math>EC</math>, violando el supuesto de racionalidad limitada.</p>	<p>El aprendizaje se manifiesta entre el <math>EC</math> y los agentes competidores al modificar sus vectores (necesidades y capacidades respectivamente), hasta que el mensaje del <math>EC</math> es aprovechado por los agentes competidores.</p>	<p>Se analiza a través del autosostenimiento del sistema regional de innovación, el cual se logra cuando se ajustan las necesidades del <math>EC</math> con las capacidades de los agentes que compiten y se relacionan en el sistema.</p>

## 2. Conceptualización del sistema para la construcción del modelo

### 2.1. Introducción

El desarrollo teórico y conceptual de los SI y, en particular, del aprendizaje en los SRI, ha sido influenciado por diferentes escuelas de pensamiento. En ese contexto, las contribuciones en la comprensión del fenómeno evolutivo bajo el enfoque de la teoría de la complejidad están representando una mejor aceptación por el análisis de aquellos fenómenos denominados emergentes. Además, el análisis de estos sistemas debe ser de carácter dinámico y longitudinal, para obtener así una mejor aproximación a las dinámicas de aprendizaje y los patrones que adopta el sistema. Una metodología de análisis para hacer frente a este problema es la MBA, que se considera adecuada para abordar SCA que se desarrollan en el tiempo. No obstante, la revisión de la literatura revela un esfuerzo apenas incipiente en el desarrollo de modelos conceptuales construidos para analizar el fenómeno del aprendizaje a la luz de los ABM.



En este capítulo se presenta el proceso de construcción a partir de Wilensky (1999) de un modelo conceptual, que posteriormente servirá de fundamento al desarrollo de un ABM. Dicho proceso comprende tres fases: la primera consiste en realizar unas preguntas iniciales que darán respuesta y claridad sobre cómo el modelo ayudará a la comprensión del fenómeno; la segunda fase expone las ideas o respuestas obtenidas y las contrasta con la teoría; el objetivo en esta fase es que el modelo refleje de una forma adecuada los conceptos que lo soportan teóricamente. En la tercera fase, a partir de los resultados anteriores, se formulan las hipótesis que permitirán la construcción del modelo conceptual.

## 2.2. Comprensión del fenómeno

### 2.2.1. ¿Cuáles son las preguntas a indagar?

El objetivo es dar claridad sobre cómo el modelo ayudará a la comprensión del fenómeno y para ello se formulan las siguientes preguntas: ¿cómo se representa el aprendizaje en un SRI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes y cuáles patrones de aprendizaje emergen en el SRI?, ¿qué factores (de política y entorno) explican la emergencia de los patrones de aprendizaje y qué incidencia tienen sobre el desempeño del SRI?

### 2.2.2. ¿Qué se quiere modelar?

El aprendizaje en un SRI que emerge de la interacción entre agentes heterogéneos, afectado por un entorno competitivo y factores que lo propician o no, y su influencia en el desempeño del sistema.

### 2.2.3. ¿Qué ideas se quieren examinar?

- El concepto de SRI y la importancia de la cercanía geográfica.
- La acción de la racionalidad limitada.
- El SRI desde la perspectiva de los SCA.
- Los tipos de agentes y las reglas que definen su comportamiento y evolución frente a un entorno competitivo y cambiante.
- La representación de las oportunidades de innovación.
- El papel de las capacidades de innovación de los agentes que se requieren para que el SRI funcione de manera adecuada.
- Los factores que propician y restringen el aprendizaje.
- El desempeño del sistema.
- Curvas de aprendizaje.
- Desaprendizaje y olvido.

### 2.2.4. ¿Cuáles detalles del sistema son esenciales y cuáles no?

#### Considerados esenciales:

- La coevolución de los agentes heterogéneos del SRI.

- El aprendizaje *doing-interacting* de los agentes
- La racionalidad limitada del entorno competitivo y los agentes competidores; un comportamiento más ajustado a la realidad.
- La aleatoriedad, que se encuentra presente en muchos de los parámetros del modelo y en las relaciones que se generan entre todos los agentes.
- La interacción entre el entorno competitivo y los agentes competidores, y entre agentes competidores mediante cooperación.
- Que se puedan evidenciar los patrones de especialización por medio de la acumulación o desacumulación en las capacidades.
- Cómo aprende y desaprende el sistema dependiendo del factor de aprendizaje que se adopte.
- Cuántos ganan y cuáles pierden en la dinámica de aprendizaje que se genera en el SRI.
- La diferenciación de los agentes en su vector de capacidades, quedando enmarcados en una tipología de agente competidor.
- La medición del desempeño del SRI, que permita comparar los resultados de los diferentes escenarios.
- El tener un entorno competitivo dinámico que busca ser satisfecho por los agentes competidores, dándole al modelo una dinámica de jalonamiento del mercado.

#### No considerados esenciales:

- La herencia y la reproducción con que cuentan generalmente los agentes en los SCA.
- La posibilidad de imitación que, por lo general, se tiene en cuenta en los modelos de difusión de las innovaciones.
- No se hace diferenciación entre enlaces débiles y fuertes, tal como se consideran en algunos trabajos de redes sociales.
- No se priorizan los relacionamientos con otros agentes a partir del éxito o fracaso de relacionamientos anteriores, eliminando en el agente la memoria de relaciones pasadas, dándole más peso a las reglas de ubicación y complementariedad que a la de experiencias previas.

### 2.2.5. ¿Cómo ayuda el modelo a la comprensión del fenómeno?

- Permite, mediante un análisis dinámico y longitudinal, analizar cómo se produce el aprendizaje y qué patrones pueden emerger en un SRI, especialmente cuando se hace frente a un SCA conformado por agentes heterogéneos que interactúan y coevolucionan en el tiempo.
- El modelo posibilita analizar los patrones de especialización a partir de la acumulación de las capacidades de innovación y del factor de aprendiza-

je que adopta el sistema. Así mismo, cómo afecta dichos patrones el desempeño innovador del sistema.

- Permite conocer cuáles son las políticas que propician un mejor desempeño en el sistema y cómo dichas políticas afectan los patrones de especialización de las capacidades de innovación.
- Muestra cómo sobreviven los diferentes tipos de agentes y cómo estos satisfacen las necesidades del entorno competitivo, ya sea de forma individual o interactuando con otros agentes.
- El modelo introduce una nueva perspectiva dinámica de características *bottom-up*, la cual lo diferencia respecto a otros estudios que solo muestran una foto estática del fenómeno del aprendizaje, así como de otros modelos de interacción entre agentes heterogéneos para la innovación y el aprendizaje que no tienen en cuenta la dificultad en el relacionamiento de los diferentes tipos de agentes.

## 2.3. Relación de las respuestas anteriores con la teoría

### 2.3.1. El concepto de SRI señalado por Asheim y Gertler (2005) y la importancia de la cercanía geográfica en el aprendizaje interactivo

El modelo adopta una perspectiva de un SRI desde una aproximación regional nacional y pretende analizar las características comunes de estos sistemas. Para

ello se basa en la definición de Asheim y Gertler, quienes definen un SRI como “[l]a infraestructura institucional que apoya a la innovación en la estructura productiva de una región” (traducción del autor) (Asheim & Gertler, 2005, p. 299). Dichos sistemas están integrados por actores (exploradores, explotadores e intermediarios o catalizadores) que interactúan y que se encuentran implicados en un aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992).

La proximidad se considera clave para la producción, transmisión y compartición del conocimiento. Sin embargo, el aprendizaje interactivo en un SRI no resulta ser tan fácil (Lundvall B.-A., 1985; 1988; 1992), dado que este se caracteriza por presentar adherencia a un territorio y por estar insertado o arraigado localmente, dando lugar a capacidades localizadas y distribuidas desigualmente (Malberg & Maskell, 1997; 1999; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004). El aprendizaje interactivo es localizado en las cercanías de las actividades previas del agente, debido a las restricciones que imponen las rutinas (Teece, 1988) en ellos, sus capacidades son localizadas producto de la heterogeneidad de los agentes en el sistema. Usar y poner en práctica las capacidades de innovación propicia dinámicas de aprendizaje localizadas en el sistema. Es así como dichas capacidades le permiten al agente, integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas para hacer frente a entornos que cambian rápidamente” (Teece, Pisano, & Shuen, 1997, p. 518).

La localización geográfica y la proximidad de los agentes se considera clave para la producción, transmisión y compartición no sólo del conocimiento, sino también las capacidades, surgiendo entonces el enfoque de lo que se conoce como el aprendizaje mediante la interacción (*learning by interacting*), enfoque que tiene como uno de sus objetivos analizar propuestas de estrategias y políticas para *mejorar* el desempeño del sistema (Cooke & Memedovic, 2006). Para finalizar, este enfoque tendrá como eje central las innovaciones y el aprendizaje interactivo (Edquist, 1997; Lundvall, 1992) y la importancia que se le da a la localización o cercanía geográfica (Lundvall & Johnson, 1994; Asheim & Gertler, 2004) de los agentes en un SRI.

### 2.3.2. Los SR/desde la perspectiva de los SCA

Los sistemas complejos se caracterizan por una dificultad inherente experimentada por el observador para explicar y describir el comportamiento del sistema en un nivel macro en términos de las partes que lo constituyen; se componen típicamente de un gran número de entidades que interactúan entre sí así como con su entorno (Gell-Mann, 1995). Los sistemas complejos están compuestos por elementos individuales, reglas que rigen su comportamiento y un entorno con el que interactúan. A medida que se dan dichas interacciones, los individuos aprenden a anticiparse a las consecuencias futuras, modificando así la

manera en la que toman decisiones. La literatura de los sistemas complejos adaptables presentan las siguientes características que también pueden ser observadas en los SRI:

- La autoorganización: Es la capacidad de los individuos para organizarse a sí mismos en organismos más complejos. El organismo resultante puede mostrar propiedades que sus miembros no son capaces de mostrar por sí solos. La autoorganización se presenta de manera espontánea, las entidades que la constituyen no son conscientes del proceso y esencialmente la organización es un sistema abierto que intercambia materia y energía con el medio, capaz de sobrevivir por fuera de los estados de equilibrio, por lo tanto no existe un plan estratégico para este proceso (Mc Millan, 2004).
- El aprendizaje y comportamiento adaptativo: los SCA aprenden de sus experiencias previas y se adaptan a ellas, modificando sus decisiones futuras (Gell-Mann, 1995).
- Coevolución: este concepto es una extensión de la idea darwiniana de la evolución, los diferentes sistemas que comparten recursos en un ambiente en común interactúan e influyen en los caminos evolutivos entre sí. Por ejemplo, cuando las empresas compiten entre ellas, las decisiones que cada una de ellas toma tienen consecuencias sobre las otras (Mc Millan, 2004).

En ese orden de ideas, los *SRI* son *SCA* con actores o agentes capaces de autoorganizarse, aprendiendo de las experiencias previas a través de la interacción y evolución del sistema. Por otro lado, Holland (2004) ha agregado a la literatura de los sistemas complejos adaptables propiedades y mecanismos.

Las propiedades son:

- La agregación: es la emergencia de los comportamientos complejos a partir de la interacción de los agentes. Se pueden presentar como un agregado en un grado de jerarquía superior para formar un metaagente.
- La no linealidad: el comportamiento del sistema no es semejante a la suma de los comportamientos de sus componentes.
- Los flujos: la interacción se da a través de nodos (agentes) que interactúan a través de conectores en estos *SCA*.
- La diversidad: la interacción entre diferentes agentes genera diversidad y heterogeneidad en el sistema.

Los mecanismos son:

- El etiquetado es un mecanismo que facilita la identificación por parte de los agentes dentro del sistema de otros agentes con los que intercambian recursos, permitiendo la discriminación, especialización y cooperación entre agentes.

- Los modelos internos son mecanismos complejos que permiten la anticipación, ya que los agentes se encuentran agregados.
- Los bloques de construcción son mecanismos que permiten extraer la información de los modelos internos y aplicarla a condiciones en las cuales la interacción entre el medio y el agente aún no se ha presentado.

Las características propuestas por Gell-Mann y Mac Millan, así como las propiedades y mecanismos planteados por Holland, llevan a definir los *SRI* como *SCA* comprendidos por agentes interactuantes que pueden ser descritos en términos de reglas. Dichos agentes se adaptan en la medida en que cambian sus reglas al acumular experiencias. En los *SRI* el medio ambiente está constituido por otros agentes adaptables, de manera que una parte de los esfuerzos de adaptación de cualquier agente es utilizada para adaptarse a otros agentes que también son adaptables buscando principalmente la reproducción y sobrevivencia como cualquier objetivo común que es mutuamente beneficioso para ellos; el entorno entonces es percibido como un todo cuyos elementos se afectan mutuamente y de manera continua en el tiempo. Tales elementos funcionan para alcanzar un propósito común por medio de la cooperación y el aprendizaje colectivo (Holland, 2004).

Para finalizar, el aprendizaje en los *SRI* se caracteriza por tener un comportamiento

que emerge imprevisiblemente, debido a que los agentes del sistema enfrentan procesos de constantes cambios que implican adaptación y evolución, conjuntamente con el entorno competitivo. Se componen de actores o agentes (exploradores, explotadores e intermediarios) y reglas que rigen su comportamiento (localización y cercanía, complementariedad en las capacidades), así como un entorno con el que interactúan (entorno competitivo el cual demanda oportunidades de innovación). A medida en que se dan dichas interacciones, los individuos aprenden a anticiparse a las consecuencias futuras, modificando así la manera en la que toman decisiones.

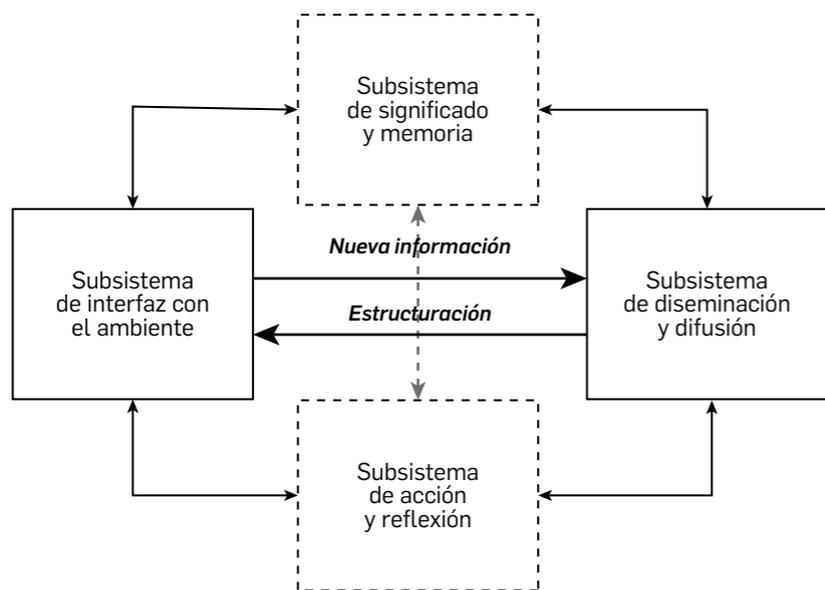
### 2.3.3. Los agentes de un *SRI*

Gran cantidad de estudios reportados por la literatura presentan una foto estática de agentes e instituciones, en lugar de presentar los procesos y las dinámicas de innovación y aprendizaje, considerando no solo funciones, roles y relaciones de dichos actores. Los actores, denominados agentes o instituciones, al igual que sus dinámicas en los *SRI*, llevan a retomar el enfoque teórico de la organización basada en el conocimiento de (Fransman, 1994) “[...] Las empresas son repositorios del conocimiento (Penrose, 1959), así como sistemas integrados de conocimiento especializado (Simon, 1961; 1996) capaces de preservar y generar conocimiento (Grant, 1996), son sistemas capaces de aprender por ensayo y error del proceso (Herriot, Levinthal, & March, 1975), construyendo y seleccionan-

do rutinas (Nelson & Winter, 1982)” (Borrelli, Ponsiglione, Landoli, & Zollo, 2005, p. 3).

El enfoque anterior se encuentra enmarcado en el modelo social funcional de Parsons (1951), que posteriormente fue adaptado por Schwandt (1997) como sistema de aprendizaje. Schwandt define el aprendizaje organizacional como “[...] un sistema de acciones, actores, símbolos y procesos que permite a una organización transformar la información en conocimiento valioso que a su vez aumenta su capacidad de adaptación a largo plazo” (Schwandt, 1997, p. 8). Una visión más general de los sistemas de aprendizaje proporcionada años después por Schwandt y Marquardt (2000), presenta una información acerca de los procesos y componentes de un sistema de aprendizaje organizacional, que pueden ser llevados y esbozados en un *SRI* como un sistema de aprendizaje interactivo (ver Figura 2-1, página siguiente).

El modelo de aprendizaje organizacional de Schwandt contiene cuatro subsistemas de acción: 1) el subsistema de interfaz del medio ambiente; 2) el subsistema de acción-reflexión; 3) el subsistema de diseminación/difusión; y 4) el subsistema de significado y memoria. Tales subsistemas proporcionan un marco analítico para la descripción y evaluación de las funciones dinámicas del sistema de aprendizaje de la organización (véase, para más detalles, Zollo, Crescenzo y Ponsiglione, 2011), y además proporciona los flujos de conocimiento producidos en la interacción

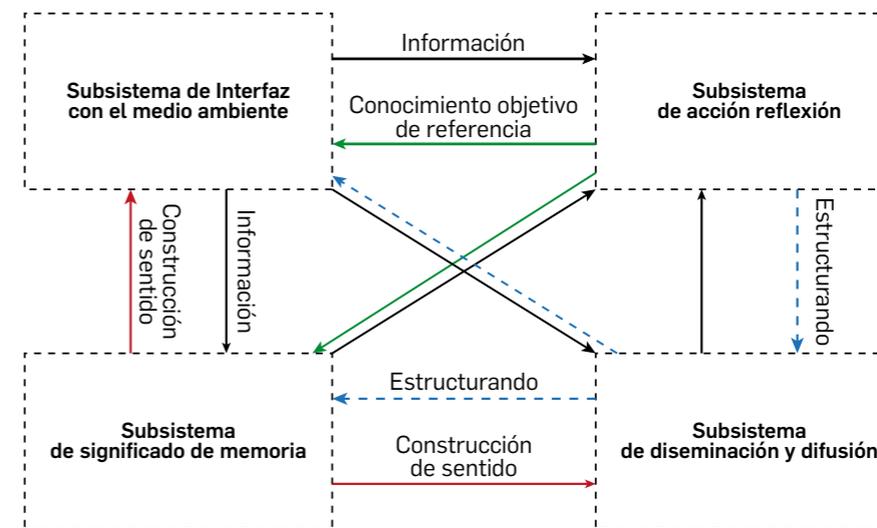


Fuente: Elaboración propia a partir de Hazy, Tivnan, & Schwandt (2003)

Figura 2-1. Sistema de aprendizaje organizacional

de agentes, que dan origen a comportamientos emergentes de carácter evolutivo y que llamaremos aprendizaje colectivo (ver Figura 2-2). Sobre esta base, Ponsiglione, Quinto y Zollo (2014) definieron las competencias de los cuatro actores de un SRI (exploradores, explotadores, intermediarios y gobierno regional) para su posterior modelación y simulación (ver Figura 2-2).

Acuñados en la perspectiva de los SCA, Borrelli et al. (2005) identifican siete elementos característicos de los sistemas complejos: 1) amplia interacción entre los agentes que operan a nivel local y carencia de un controlador central; 2) organizaciones multiniveles con interacciones distribuidas; 3) adaptación continua; 4) presencia de elementos turbulentos (nuevos mercados, nuevas tecnologías, nuevos comportamientos); 5) racionalidad limitada; 6) adaptación de agentes; y 7) continua evolución (Arthur, Durlauf, & Lane, 1997). Dichos elementos permiten identificar fácilmente que los SRI son SCA conforma-



Fuente: Elaboración propia a partir de Schwandt y Marquardt (2000) y Zollo, Crescenzo y Ponsiglione (2011)

Figura 2-2. Descripción de las funciones dinámicas del sistema de aprendizaje de la organización

dos por agentes de racionalidad limitada que aprenden adaptativamente e interactúan en diferentes niveles; en otras palabras, son sistemas constituidos por subsistemas que, a su vez, están compuestos por organizaciones e instituciones en una región que aprenden colectivamente con propiedades y mecanismos característicos de los SCA de Gell-Mann (1995), Mc Millan (2004) y Holland (2004).

Bajo la perspectiva anterior se exploró y detectó la necesidad de modelar y simular los procesos de innovación y el aprendizaje interactivo en el contexto de los SRI; para tal fin, se hizo necesario interiorizar en los agentes y describir elementos relevantes e importantes que influyen en tales procesos (por ejemplo, los recursos y las capacidades que presentan los agentes en una región, así como su nivel de competencias). En esta perspectiva se denominará a los agentes del sistema, agentes competidores. En ese orden de ideas, el aprendizaje se describe como aquellas dinámicas en que la firma acumula capacidades y, por ende, competencias nucleares a partir de los recursos (Robledo, 2013) (ver Figura 2-3, página siguiente).



Fuente: Elaboración propia a partir de Schwandt y Marquardt (2000) y Zollo, Crescenzo y Ponsiglione (2011)

Figura 2-3. Agentes del SRI con relación a sus competencias

### 2.3.4. La relación entre los recursos, las capacidades y las competencias con el aprendizaje

La relación entre recursos, capacidades, competencias nucleares y aprendizaje que se utiliza en el modelo, se adopta desde la perspectiva de la empresa basada en los recursos (Penrose, 1959), según Grant (1991) los recursos son entendidos como “todo tipo de activos, tangibles e intangibles, tanto físicos, como intelectuales y culturales a los que una empresa tenga acceso o no, pero que debería conseguir para lograr sus objetivos corporativos” (Grant, 1991).

Las capacidades, son “la habilidad para hacer uso de los recursos con el fin de realizar alguna tarea o actividad” (Hafeez, Zhang, & Malak, 2002, p. 40 traducción del autor). El otro elemento importante son las competencias nucleares (*core-competences*), Hafeez, Zhang y Malak (2002) las definen como “aquellas capacidades que posibilitan a la empresa el despliegue de sus recursos de forma que le generen ventajas competitivas”. Ahora bien, para que las capacidades se conviertan en competencias nucleares, deben ser valiosas, raras, difíciles de imitar y sustituir (Barney, 1991).

El aprendizaje, por su parte, se comprende como las dinámicas en que la empresa acumula capacidades y, por ende, competencias nucleares (Robledo, 2013). Ahora bien, si el aprendizaje se puede representar en las dinámicas de la acumulación en las capacidades, entonces, este juega un rol importante para el desarrollo y evolución de un SRI, convirtiéndose en un elemento clave de interacción y conectividad del sistema (Archibugi, Howells, & Michie, 1999). Es así, como el aprendizaje interactivo es la clave para el rendimiento económico de las empresas, regiones y naciones (Lundvall, 2007) y donde el éxito de dichas empresas, regiones y naciones depende de la habilidad para aprender (Lundvall, 2007). En otras palabras, la habilidad y rapidez con que se acumulen “aprender” y se desacumulen “desaprender” las capacidades, resulta clave para el desempeño del sistema.

A continuación se presentan los conceptos de capacidades dinámicas, de absorción, los ciclos de exploración y explotación y, por último, las capacidades de innovación tecnológica como un asunto esencial para la concepción del modelo.

- **Las capacidades dinámicas.** Se definen como la “capacidad de la empresa para integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas para hacer frente a entornos que cambian rápidamente” (Teece, Pisano, & Shuen, 1997, p. 516, traducción del autor). Las competencias son entendidas como

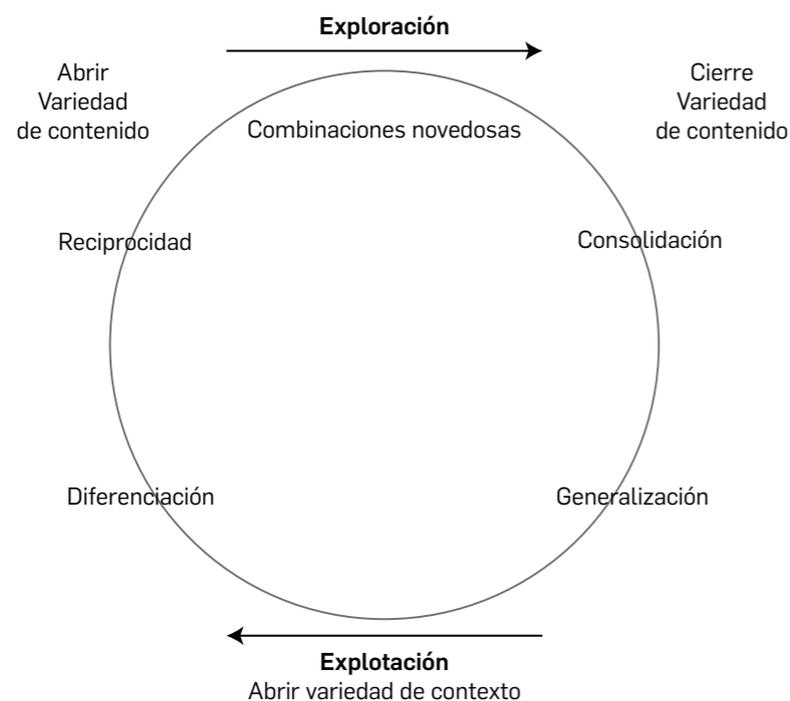
“los patrones corrientes de práctica y aprendizaje” (Teece et al., 1997, p. 518, traducción del autor). Por lo tanto, “mediante la alteración de la base de recursos de la organización, las capacidades dinámicas podrían abrir nuevas alternativas estratégicas o ‘caminos’ para la empresa” (Helfat, 1997) citado en (Helfat et al., 2007, p. 2, traducción del autor).

- **Las capacidades de absorción.** El concepto de capacidad de absorción fue introducido por primera vez<sup>1</sup> por Cohen y Levinthal como: “la capacidad de las firmas para identificar, asimilar y explotar el conocimiento del medio ambiente” (Cohen & Levinthal, 1989, pp. 569-570 traducción del autor). Posteriormente, el concepto fue refinado como la “capacidad de la firma de reconocer el valor de nueva información externa, asimilarla y aplicarla para fines comerciales” (Cohen & Levinthal, 1990, p. 128 traducción del autor). Más tarde, Zahra y George (2002) definieron un conjunto de rutinas y procesos de la organización, por el cual las firmas adquieren, asimilan, transforman y explotan

<sup>1</sup> El término “capacidad de absorción” fue utilizado por primera vez por Kedia y Bhagat (1988) para describir una organización que tiene “orientación cosmopolita, existencia de un núcleo técnico sofisticado y un proceso estratégico de gestión”, el cual permite integrar de forma eficaz la transferencia de tecnología (Kedia & Bhagat, 1988, p. 568). Sin embargo, fue Cohen y Levinthal (1989) quienes introdujeron el concepto.

el conocimiento para producir una capacidad dinámica organizacional, siendo ellos los primeros en diferenciar una capacidad de absorción potencial, definiéndola como la capacidad de un firma para valorar y adquirir conocimiento externo, sin garantizar que dicho conocimiento pueda ser explotado.

- Los ciclos de exploración y explotación se encuentran sustentados sobre el ciclo de descubrimiento que plantea Nooteboom (2000), quien describe y explica cómo la exploración y la explotación están estrechamente relacionadas (ver Figura 2-4). Mientras que la explotación emplea eficientemente las capacidades necesarias que se tienen con el fin de sobrevivir en el corto plazo, la exploración desarrolla nuevas capacidades, necesarias para sobrevivir en el largo plazo. Por lo tanto, para sobrevivir en el corto y largo plazo, las empresas deben combinar exploración y explotación.



Fuente: Elaboración propia a partir de (Gilsing & Nooteboom, 2006)

Figura 2-4. Ciclo de descubrimiento

Bajo esta perspectiva, March (1991) asoció la exploración a situaciones que implican la captura en términos, por ejemplo, de riesgo, variación, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento e innovación. Además, planteó que los sistemas adaptativos que se insertan en la exploración en detrimento de la explotación probablemente obtienen bajos beneficios y presentan ideas subdesarrolladas con pocas capacidades distintivas. La exploración también se relaciona con el aprendizaje mutuo entre miembros de una organización y es requerida para sobrevivir en el largo plazo.

La explotación se encuentra vinculada con términos como el refinamiento, la opción, la producción, la eficiencia, la selección, la implementación, la ejecución, así mismo, los sistemas de innovación que se introducen en la explotación y se excluyen de la exploración, es probable que se encuentren atrapados en un subóptimo equilibrio (March, 1991). La exploración y la explotación se han relacionado también con el aprendizaje por la búsqueda y la exploración (*Learnign by searching and exploring*) y la obtención de alguna ventaja competitiva en la disputa por la hegemonía, y es requerida por las empresas para mantenerse en el corto plazo.

En ese orden de ideas, la exploración incrementa la probabilidad de lograr niveles de desempeño innovador superior o inferior de la tendencia de la trayectoria histórica de la firma. Es probable que la explotación conserve la línea de tendencia histórica; La Tabla 2-1 (ver página siguiente) presenta algunos elementos importantes acerca de la exploración y la explotación a partir del ciclo de descubrimiento de Nooteboom y los aportes de March.

• **Las capacidades de innovación tecnológica**

Dos corrientes teóricas han realizado investigación empírica en el ámbito empresarial. La primera corriente aborda la investigación acerca de la acumulación de las capacidades tecnológicas y el aprendizaje de las empresas industriales en países en vías de desarrollo (por su sigla en inglés DCL) (véase por ejemplo Dahlman & Westphal, 1982), (Bell, 1984), (Westphal, Kim, & Dahiman, 1985), (Katz, 1986;1987); (Lall, 1987;1992); (Bell & Pavitt, 1995). Esta corriente se ha enfocado en el proceso de aprendizaje asociado a la construcción de una mínima base de conocimientos esenciales para ejercer la actividad innovadora, y está centrada en las dimensiones técnicas de la etapa de la acumulación de capacidades y particularmente en los procesos de aprendizaje en el campo individual.

Según Dutrénit (2000), esta corriente ha prestado poca atención a dos asuntos: 1) los aspectos organizativos y gerenciales de la etapa de acumulación; 2) la última eta-

Tabla 2-1. Asuntos claves de la exploración y la explotación

EXPLORACIÓN	EXPLOTACIÓN
- Se asocia la exploración con el aprendizaje mutuo e interactivo entre miembros de la misma organización así como con otras organizaciones, lo que genera aprendizaje colectivo.	- Se asocia con el aprendizaje y la obtención de alguna ventaja competitiva en el ámbito de los mercados y la disputa por la hegemonía.
- Se requiere por parte de las organizaciones para sobrevivir en el largo plazo.	- Se requiere por parte de las organizaciones para mantenerse en el corto plazo y la súper-vivencia
- Involucra el desarrollo de nuevos productos y procesos.	Involucra el uso eficiente de las diferentes capacidades existentes en las organizaciones
- Se asocia con situaciones que implican los siguientes términos: Riesgo, variación, experimentación, juego, flexibilidad, descubrimiento e innovación.	- Se asocia con términos como: Refinamiento, opción, producción, eficiencia, selección, implementación, ejecución.
- Plantea que los sistemas adaptativos que se insertan en la exploración en detrimento de la explotación, probablemente obtienen bajos beneficios y presentan ideas sub-desarrolladas con pocas capacidades distintivas.	- Los sistemas adaptativos que se introducen en la explotación en detrimento de la exploración es probable que se encuentren atrapados en un equilibrio sub-óptimo
- Reta a la organización científica o Taylorista con la experimentación de nuevos principios organizativos.	- Se asocia con la estandarización de prácticas, productos y procesos.
- Incrementa la probabilidad de lograr niveles de desempeño por encima o por debajo de la tendencia de la trayectoria histórica.	- Es probable que mantenga la línea de la tendencia histórica o su trayectoria.
- Requiere conservar la identidad, conocimiento y prácticas existentes con cierta cantidad de control y coordinación, en un diseño dominante, lo cual limita a los individuos en mayor o menor extensión.	- Surge de desviaciones como una fuente de innovación con una pérdida de control y coordinación.

Fuente: Elaboración propia a partir de March (1991) y Nooteboom (2000)

pa de acumulación, cuando las empresas alcanzan la frontera tecnológica buscando construir unas bases de conocimiento más complejas e integradas, necesarias para hacer uso estratégico de dicho conocimiento, es decir, cómo las empresas acumulan y alcanzan niveles superiores en sus capacidades tecnológicas con miras a la especialización.

La segunda corriente es la llamada literatura de gestión estratégica (por su sigla en inglés SML), enfocada en el desarrollo de las capacidades o competencias nucleares de las empresas en el escenario internacional en los países industrialmente desarrollados (véanse, como ejemplos, Prahalad y Hamel, 1990; Teece, Pisano y Shuen, 1997; Pavitt, 1991; y Leonard-Barton, 1995), corriente que ha prestado poca atención a la manera en que estas capacidades estratégicas fueron inicialmente acumuladas.

La capacidad tecnológica fue definida como "... the ability to make effective use of technological knowledge... It inheres not in the knowledge that is possessed but in the use of that knowledge and in the proficiency of its use in production, investment and innovation" (Westphal, Kim, & Dahiman, 1985, p. 171). Este concepto presentó similitud con otros conceptos que se referían a la misma idea, por ejemplo, el esfuerzo tecnológico (Dahlman & Westphal, 1982; Lall, 1987) y la capacidad tecnológica (Bell, 1984; Scott-Kemmis & Bell, 1985; Katz, 1986; 1987), haciéndose más ampliamente utilizado en años posteriores.

El concepto de capacidad tecnológica se ha referido a un stock de conocimientos tecnológicos, así como su uso

desde la dimensión organizacional. Tal dimensión institucional/organizacional es declarada por Bell y Pavitt (1995, p. 71) como "[...] domestic capabilities to generate and manage change in technologies used in production, and these capabilities are based largely on specialized resources.....[which] need to be accumulated through deliberate investment a management problem", enfoque que busca generar y gestionar los cambios dentro de un contexto del mantenimiento de la competitividad en un entorno competitivo cambiante. Las empresas construyen capacidades tecnológicas a través de sus procesos de aprendizaje, puesto que el aprendizaje tecnológico se refiere al proceso dinámico por el cual se adquieren las capacidades en este aspecto. Por lo tanto, con el paso del tiempo las empresas aprenden y acumulan un conocimiento de carácter tecnológico, lo que les permite llevar a cabo progresivamente nuevas actividades que les permitan adquirir nuevas capacidades. Diversos autores analizan cómo las empresas pasan de tener capacidades de producción a ser capaces de llevar a cabo las actividades de innovación, que son observadas en la literatura como un logro tecnológico y como un indicativo de madurez tecnológica de la firma para "[...] identify a firm's scope for efficient specialization in technological activities, to extend and deepen these

*with experience and effort, and to draw selectively on others to complement its own capabilities ...*" (Lall, 1993, pp. 268-9).

Estudios realizados por Bell, Ross-Larson y Westphal (1984, p. 107), presentan la imposibilidad por parte de una mayoría de las denominadas industrias infantes de los países en desarrollo, para alcanzar la madurez debido a su fracaso para construir una adecuada capacidad tecnológica. Sin embargo, Lall (1993, p. 269) señala que las empresas antes de conseguir su madurez, varían en el dominio de las diversas funciones involucradas, por lo que es posible identificar diferentes etapas en la acumulación de las capacidades (ver Tabla 2-2). Basado en la idea de que las capacidades tecnológicas son el dominio de las actividades tecnológicas, Lall (1992) aprovechó los trabajos de Dahlman y Westphal, (1982), Katz, (1984) y Dahlman, Ross-Larsen, y Westphal, (1987) en su estudio de adquisición de capacidades tecnológicas en la India (Lall, 1987) y presentó una taxonomía de las capacidades tecnológicas a nivel de empresa de acuerdo a su función técnica. Años después, (Bell & Pavitt, 1995, pp. 83-88) desarrollaron el marco de las capacidades tecnológicas propuestas por Lall.

Las columnas de la Tabla 2-2 configuran las principales capacidades tecnológicas mediante su función técnica. Las actividades de inversión son lo que una firma requiere para generar, aplicar y gestionar el cambio técnico durante los proyectos de inversión, e incluyen actividades relacionadas con la toma de decisiones, control, preparación y ejecución de proyectos.

Las actividades de producción son lo que una firma requiere para generar y gestionar el cambio técnico de los procesos de I+D y producción de productos. Además, existen dos funciones técnicas de apoyo: los vínculos en desarrollo o interacción con empresas e instituciones, y la producción de bienes de capital. Las filas configuran las principales capacidades tecnológicas por grado de dificultad, medida por el tipo de actividad en la que surge la capacidad tecnológica.

La distinción entre las capacidades en las rutinas de producción y las capacidades de innovación tecnológica es un tema clave; según Bell y Pavitt (1993), tal distinción es entre: "[...] *the kind of knowledge and skills required to operate given production systems, and the kind of knowledge required to change them*" (Bell & Pavitt, 1993, p. 165). Las capacidades en las rutinas de producción son un núcleo inherente ("*inner core*") ya acumulado (Lall, 1987, p. 231), el cual se requiere para estar en el mercado; sin embargo, las empresas también pueden construir diferentes niveles de capacidades de innovación tecnológica.

Tabla 2-2. Matriz de las capacidades tecnológicas

			FUNCIONAL					
			INVERSIÓN			PRODUCCIÓN		
			Pre-inversión	Ejecución del Proyecto	Ing. de Proceso	Ing. de Producto	Ing. Industrial	Vínculos económicos
GRADO DE COMPLEJIDAD	BÁSICAS	RUTINA SIMPLE (basada en la experiencia)	Pre-factibilidad y estudios de viabilidad, lugar de la inversión y programación de la inversión	Construcción civil, servicios auxiliares, equipos de montaje, puesta en marcha de las inversiones	Depuración, balance, mantenimiento y control de calidad preventivo, asimilación de procesos tecnológicos	Asimilación de diseño de producto, menor importancia a las necesidades del mercado	Flujo de trabajo, programación, estudios de tiempo y movimiento, control de inventario	Compra locales de bienes y servicios, intercambio de información con los proveedores
	INTERMEDIAS	DUPLICACIÓN ADAPTABLE (basada en búsqueda)	Búsqueda de fuentes de información. Negociación de contratos y términos adecuados. Sistemas de información	Adquisición de equipos, ingeniería detallada, formación y reclutamiento de personal calificado	Expansión de equipos, procesos de adaptación y disminución de los costos, licenciamiento de nuevas tecnologías	Mejora en la calidad de producto, asimilación y licenciamiento de nuevas tecnologías importadas de producto	Monitoreo de la productividad, mejor coordinación	Transferencia de tecnología de proveedores locales, diseño coordinado, vínculos de ciencia y tecnología
	AVANZADAS	INNOVACIÓN ARRIESGADA (basada en investigación)		Procesos básico de diseño, equipos de diseño y suministro	Innovación de procesos In-house, investigación básica	Innovación de productos In-house, investigación básica		Capacidad de llave en mano, cooperación en I+D, concesión de licencias de tecnología propia a los demás

Fuente: Elaboración propia a partir de (Lall, 1992, pág. 167)

La taxonomía incluye cuatro etapas de la acumulación de la capacidad tecnológica: la capacidad de rutina de producción y tres niveles de capacidades de innovación tecnológica. Un nivel básico de capacidades que puede permitir solamente contribuciones menores e incrementales para cambiar, pero en los niveles intermedio y avanzado, las capacidades podrían resultar más sustanciales con contribuciones y cambios ambiciosos (Bell & Pavitt, 1995, p. 83).

Las etapas propuestas por Lall son representadas en el modelo a partir de un vector de las capacidades de innovación provisto para cada agente. Dichas capacidades son asignadas a los agentes de manera aleatoria; el vector se encuentra dotado de posiciones que representan las capacidades de innovación tecnológica y magnitudes que representan el grado o etapa en que se encuentra la capacidad.

La literatura reconoce que no es posible juzgar si una función técnica en particular es simple o compleja, y tampoco si las etapas pueden mostrar una secuencia que se debe llevar a cabo para el aprendizaje; sin embargo, el modelo pretende aportarle a este campo a través de la modelación y simulación del aprendizaje interactivo. Lall (1993, p. 267) señala que a pesar de la naturaleza misma del aprendizaje tecnológico parecería dictar que el dominio procede desde las actividades más simples a las actividades más complejas. Las diferentes empresas y diferentes tecnologías adoptan diferentes secuencias y, por lo tanto, en la propuesta de Lall (1992) no se muestra una secuencia necesaria del aprendizaje. No obstante, el modelo busca representar algunas secuencias con el fin de comprender cómo se acumulan y desacumulan las capacidades de innovación con relación al factor de aprendizaje o desapredizaje que adopta el sistema producto de las dinámicas de aprendizaje interactivo de los agentes heterogéneos de un *SRI*.

En el mismo sentido, Bell y Pavitt (1995, pp. 88-89) se refieren a las limitaciones de la concepción de la acumulación tecnológica en términos de etapas generales, haciendo necesaria una mayor investigación acerca de las estrategias para la acumulación de tecnologías a nivel de empresa. Dichos autores señalan que las diferencias a nivel de empresa, industria y país, pueden determinar un amplia variación en la tasa de acumulación y en el nivel de sofisticación de las actividades desarrolladas por áreas funcionales. Además, Lall reconoce que la “[...] clasificación ha tratado estrictamente aspectos técnicos de una empresa. Sin embargo, las capacidades organizacionales tienen que acompañar a las tecnológicas”. (Lall, 1987, p. 17 traducción del autor).

A pesar de que ambos factores (tecnológicos e institucionales/organizacionales) se reconocen como parte de la capacidad tecnológica, la interacción entre ambas dimensiones es un tema clave que en los últimos años ha dado lugar a muchos estudios significativos. Con base en los trabajos previos de Lall (1992), Robledo (et al. 2009) han propuesto una categorización y redefinición de las capacidades de innovación tecnológica acuñados en el concepto de capacidad organizacional de Renard & Saint-Amant (2003).

Los autores definen las capacidades de innovación tecnológica como aquellas capa-

idades organizacionales sobre las cuales la organización logra sus objetivos estratégicos de innovación tecnológica. Además, clasifican y definen las capacidades específicas de innovación tecnológica en cinco capacidades: de direccionamiento estratégico, de I+D, de producción, de mercadeo y de gestión de recursos.

En la perspectiva de Robledo y Gómez (2009), las capacidades de innovación tecnológica son consideradas como el factor endógeno más importante para pretender modelar y simular el aprendizaje, en particular sus dinámicas, específicamente a través de la acumulación y la desacumulación de las capacidades mediante la interacción de agentes heterogéneos de un *SRI*. La decisión de utilizar en el modelo las capacidades de innovación tiene una razón de ser, y es la aptitud de la firma para llevar a cabo las funciones organizacionales y lograr sus resultados de innovación a través del despliegue, la combinación y la coordinación de los componentes organizacionales según las metas estratégicas de innovación previamente definidas por una firma o agente.

Las capacidades que requiere el *SRI* para realizar sus funciones de generar, difundir y usar conocimiento y tecnología estarán distribuidas en el vector de capacidades de los diferentes agentes que lo conforman. Estas capacidades han sido clasificadas por varios autores y se les ha dado la connotación de capacidades tecno-

lógicas, de innovación y/o de innovación tecnológica (Kim, 1997; Ernst, Mytelka, & Ganiatsos, 1998; Guan & Ma, 2003; Yam, Guan, Pun, & Tang, 2004; Wang, Lu, & Chen, 2009). Para el modelo propuesto, las capacidades de innovación con que cuentan y se diferencian los agentes del sistema son:

#### **Función de generación de conocimiento y tecnología**

- Capacidades de investigación: Capacidad del agente para generar y adaptar conocimiento y tecnologías.
- Capacidad de desarrollo: Capacidad del agente para desarrollar experimentalmente productos, procesos, métodos de mercadeo y formas de organización.

#### **Función de difusión de conocimiento y tecnología**

- Capacidad de vinculación: capacidad del agente para establecer vínculos útiles con otros agentes para transferir conocimiento y tecnología.

#### **Función de uso de conocimiento y tecnología**

- Capacidades de producción: capacidad del agente para operar y mantener su infraestructura productiva de forma eficiente, así como adaptar y mejorar la tecnología de producción existente.

Capacidades de mercadeo de la innovación: capacidad del agente para identificar necesidades presentes y futuras del mercado, desarrollar nuevos productos, establecer canales de distribución, prestar servicios al cliente y publicitar la innovación.

Las capacidades de innovación del modelo se consideran dinámicas gracias a la acumulación y desacumulación que presentan por causa del aprendizaje y desaprendizaje de los agentes del SRI.

### 2.3.5. Factores que promueven y restringen el aprendizaje en un SRI

Las situaciones y factores relacionados con la promoción del aprendizaje son de gran importancia a la hora de evaluar el entorno competitivo de los agentes cada vez es mucho más exigente, y donde los desarrollos de nuevos y mejorados productos tienen un papel primordial en los nuevos mercados globales. El desarrollo de nuevos productos implica adquirir nuevas experiencias y conocimientos estrechamente relacionados con los agentes del sistema, por lo que son indispensables para contribuir al nuevo o mejorado conocimiento (Lund, 2004).

El análisis acerca de las situaciones más relevantes de aprendizaje y de los factores que promueven dicho aprendizaje (ver Tabla 2-3) son importantes a la hora de entender el factor de aprendizaje que puede

ser adoptado por una región en particular. Según Lund (2004), existen situaciones de aprendizaje que pueden ser promovidas por diferentes factores que ayudan y proporcionan un mejor aprendizaje interactivo en un sistema de innovación (Lundvall, 2004).

Es importante también conocer aquellos factores que no permiten que el aprendizaje se lleve a feliz término. A continuación se presenta un análisis de las situaciones más relevantes que restringen el aprendizaje y los factores que promueven tal restricción (ver Tabla 2-4, página 80).

El contexto de aprendizaje planteado por Lund (2004) es importante, dado que tiene un efecto sobre la política pública y la adopción de uno u otro factor de aprendizaje en el modelo, bien sea para promover como para restringirlo. Las acciones encaminadas a promover el aprendizaje están relacionadas con incrementar la interacción entre los agentes y su entorno, definir estrategias dirigidas al desarrollo de nuevos productos, promover las actividades de prueba y error como parte del proceso e incentivar la gestión por proyectos, entre otros. Ahora bien, para evitar restringir el aprendizaje, es conveniente eliminar las barreras que limiten la interacción entre los agentes y su entorno, evitar las ambigüedades estratégicas, impedir los planes poco realistas, prescindir de rutinas obsoletas y disminuir la desconfianza, entre otros.

Tabla 2-3. Situaciones de aprendizaje y factores que lo promueven

Situación de Aprendizaje	Factores que lo promueven
Contactos con clientes y mercado de productos	- Interacción con los clientes y otros agentes. Relacionados con el mercado de productos. - Pruebas de campo.
Comités de desarrollo de producto	- Estrategias de I+D direccionadas desde las nuevas ideas de producto así como las mejoras de procesos. - Trabajo en el caso de negocio o Business Plan.
Experimentos y Pruebas	- Actividades de prueba – error. - Líderes de proyectos orientados a socializar y orientar las actividades y tareas hacia el desarrollo de nuevos productos.
Aprendizaje en el lugar de trabajo	- Líderes de proyecto que promueven la comunicación y consultan.
Reuniones de Etapa – Puerta ( <i>Stage – Gate</i> )	- Distribución del conocimiento entre departamentos funcionales, supervisores y no supervisores. - Lecciones aprendidas de proyectos pasados. - Decisiones en los comités por las personas idóneas.
Contacto con proveedores e instituciones de conocimiento (interacción con explotadores-exploradores e intermediarios)	- Realización de proyectos y desarrollos con socios externos (open innovation.) - Construcción y generación de relación en el personal.
Capacitación y educación formal	- Realización de planes educativos - Cursos de interés suplementarios de los actores.

Fuente: Elaboración a partir de Lund (2004, pág. 131)

### 2.3.6. Patrones de aprendizaje

El término de patrones de aprendizaje está siendo utilizado en la actualidad en los modelos ABM (Holland & Miller, 1991; Holland, 1992; 2004) como parte de una metodología de estudio en varias áreas relacionadas con el contexto organizacional (Lättilä, Hilletoft, & Lin, 2010). Tal estra-

tegia permite estudiar la emergencia a nivel macro de los patrones de comportamiento de un sistema a partir de las interacciones de agentes semi-inteligentes a nivel micro. Desde dicha perspectiva, Howells (1999), lammarino (2005) y Uyarra (2010), han considerado que la perspectiva actual que enfrenta los problemas de los SRI, vienen manifestando un sesgo de carácter *top-*



Tabla 2-4. Visión general de situaciones de aprendizaje y las restricciones que lo relacionan

Situación de aprendizaje	Factores que lo restringen
Contactos con clientes y mercado de productos	- Temor a retaliaciones en otros negocios. - Limitada Retroalimentación.
Comités de desarrollo de producto	- Elección estratégica. - Ambigüedades estratégicas. - Prioridades a la reutilización o mejoras poco significativas.
Experimentos y Pruebas	- Presión en el tiempo. - Planes poco realistas. - Personal con poca experiencia en el estado de la técnica.
Aprendizaje en el lugar de trabajo	- Viejas rutinas. - Límites en la comunicación. - Conocimiento en el subconsciente. - Falta de capacidad, actitudes opuestas. - Falta de motivación por parte del jefe.
Reuniones de Etapa – Puerta ( <i>Stage – Gate.</i> )	- Bajo interés de los participantes. - Predisposición o sesgo tecnológico. - Tiempo insatisfecho en las reuniones. - Falta de apertura y confianza mutua.
Contacto con proveedores e instituciones de conocimiento (interacción con explotadores-exploradores e intermediarios).	- Falta de relaciones personales. - Pérdida de la confianza. - Poca interacción con los agentes del sistema de CTI.
Capacitación y educación formal	- Decisiones Ad hoc por la dirección. - Limitaciones de oferta. - Falta de motivación entre empleados.

Fuente: Elaboración a partir de: partir de Lund (2004, pág. 131)

down, más propio de los SNI, y que la caracterización de los SRI debería más bien comprender una perspectiva *bottom-up* que contemple patrones de comunicación, invención y aprendizaje localizado, compartición del conocimiento localizado, procedimientos localizados de búsqueda y exploración, integración de redes localizadas y, por lo tanto, un alineamiento de los modos de gobernanza y la dependencia de las sendas históricas de los procesos de innovación.

Entonces, la necesidad de evitar la multiplicación de trabajos paralelos que han resuelto de manera similar los problemas casi idénticos y que se repiten una y otra vez a lo largo del tiempo, lleva a introducir con fuerza el concepto de los patrones de aprendizaje como una ayuda para la resolución de problemas. Según Christopher Alexander (1977), un patrón describe un problema que ocurre una y otra vez en el entorno, describiendo el núcleo de la solución de ese problema, de tal forma que el usuario puede utilizar la solución múltiples veces. Si el aprendizaje es comprendido como aquellas dinámicas en que la empresa acumula sus capacidades y, por lo tanto, sus competencias nucleares (Robledo, 2013), entonces las capacidades señalan un comportamiento dinámico, que tiene por objetivo integrar, construir y reconfigurar competencias internas y externas en la empresa, para hacer frente a entornos que cambian rápidamente (Teece, Pisano, & Shuen, 1997).

Desde esta perspectiva, las capacidades conllevan a las competencias, las cuales son comprendidas como patrones corrientes de práctica y aprendizaje (Teece et al., 1997) que podrían abrir nuevas alternativas estratégicas o caminos a una organización (Helfat, 1997), para responder de manera satisfactoria a las oportunidades de innovación que genera el entorno competitivo. Los patrones corrientes de prácticas y aprendizaje se sustentan desde las dinámicas de la acumulación de las capa-

idades de innovación de los agentes del sistema que tienen como fin generar competencias en el sistema, a través de la interacción entre agentes.

Las funciones de generación, difusión y uso del conocimiento en un SRI, juegan un papel primordial a la hora de definir los patrones de acumulación de las capacidades en el contexto del aprendizaje planteado por Lund (2004) y Lundvall (2007). Desde esta perspectiva, el patrón de especialización de las capacidades obedecerá a aquel factor de aprendizaje que adopte el sistema producto de la interacción entre agentes. Los patrones encaminados a promover el aprendizaje producto de la acumulación de las capacidades de innovación están relacionados con aquellos agentes inmersos en los ciclos de exploración, explotación (Gilsing & Nootboom, 2006) e intermediación como enlace (Klerkx & Leeuwis, 2009) en el SRI.

### 2.3.7. Curvas de aprendizaje

Theodore Paul Wright (1936) describió el efecto del aprendizaje asociado a los costos de producción en la industria aeronáutica. Wright observó que cuando se duplicaba la cantidad de unidades fabricadas, el número de horas de mano de obra directa que se necesita para producir una unidad individual, decrecía a una tasa uniforme. Esta forma en el que el costo unitario se representa frente a la producción total, es llamado también como la curva de experiencia. Algunas curvas de aprendizaje tienen diferentes tasas o

factores de aprendizaje siguiendo la función matemática que se presenta en la siguiente ecuación (ver Figura 2-5).

**Ecuación 1**

$$Y = KX^n$$

Donde:

- Y = Número de horas de mano de obra directa requerida para producir X unidad.
- K = Número de horas de mano de obra directa necesaria para producir la primera unidad.
- X = Número de unidades acumuladas.
- $n = \frac{\text{Log } \phi}{\text{Log } 2}$  = Índice de aprendizaje.
- $\phi$  = Tasa o factor de aprendizaje.
- $1 - \phi$  = La relación de progreso.

Luego del descubrimiento de Wright, se han propuesto muchas versiones geométricas de la curva de aprendizaje, en la actualidad se presentan modelos conocidos como el modelo log-lineal, el modelo de meseta, el modelo Stanford-B, el modelo DeJong y el modelo de la curva en S, este último descrito por Carlson (1961; 1973). (ver Figura 2-6).

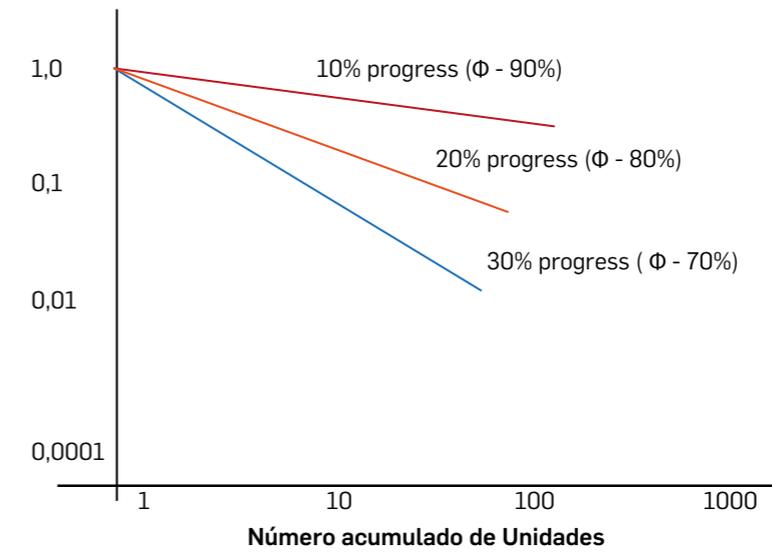
El punto esencial es que aunque el modelo log-lineal ha sido, y sigue siendo, de lejos el modelo más utilizado, algunos fabricantes han encontrado otros modelos que describen mejor sus experiencias como los modelos de curvas logísticas, estas son conocidas más comúnmente como curvas en S. De igual manera, estas curvas han sido uti-

lizadas como herramienta de medición de los ciclos de vida de producto (Pérez, 1992; Kucharavy & De Guio, 2007; Aguilar et al., 2012). El aprendizaje interactivo en el modelo se representará a través de la acumulación en las capacidades de innovación que representan una curva en S para cada capacidad, lo que nos permite representar el comportamiento de los patrones en las capacidades de innovación de los agentes y el sistema.

Las capacidades persiguen una trayectoria con respecto a su grado de complejidad. Por ejemplo, una capacidad puede construirse desde una magnitud o grado más bajo a uno intermedio y/o grado más avanzado (Pavitt, 1991; Lall, 1980; Hobday, 1995; 1997; Kim, 1999; Katz, 1984) para lograr su grado de madurez (Tidd & Bessant, 2009). Sin embargo, la velocidad con la que obtenga una magnitud o grado alto, dependerá de algunos factores que propician o no el aprendizaje (Lund, 2004) adoptado por el sistema; es en este punto donde se pretende conocer el efecto de la política en el modelo, bien sea para acumular rápidamente o desacumular las capacidades y así poder observar cómo son las dinámicas de aprendizaje y los patrones adoptados por el sistema.

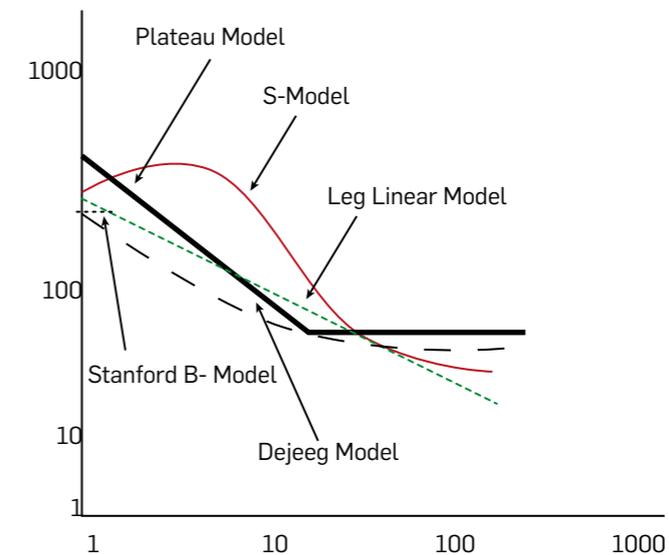
**2.3.8. Desaprendizaje y olvido**

Una serie de autores ha adoptado el enfoque del desaprendizaje como el rompimiento de la inercia del aprendizaje pasado frente a los cambios ambientales (Hannan



Fuente: Adaptado de (Yelle, 1979)

Figura 2-5. Curva de aprendizaje que requiere 1h de mano de obra directa para producir una unidad



Fuente: adaptado de Yelle (1979, p. 304)

Figura 2-6. Diferentes modelos de curvas de aprendizaje con valores de Y= 100 unidades

& Freeman, 1984; Miller, 1993; 1994; Romanelli & Tushman, 1986; Rumelt, 1995). Desaprender, desde esta perspectiva, se entiende como un esfuerzo voluntario para liberar la organización del conocimiento que ya no es necesario. Este argumento pone de relieve el hecho de que las organizaciones deben desaprender de alguna manera las rutinas y las viejas prácticas, con el fin de aprender formas más adecuadas y mejoradas de hacer las cosas.

Por otro lado, los investigadores también han argumentado que las organizaciones pueden olvidar accidentalmente, es decir, el conocimiento se puede perder sin ningún deseo explícito de eliminarlo de la organización. Algunos autores han documentado cómo el conocimiento acumulado de una organización puede disiparse rápidamente y sin querer (Argote, 1999; Argote, Beckman, & Epple, 1990; Darr, Argote, & Epple, 1995) y cómo este olvido involuntario puede tener serios efectos negativos en la productividad, rentabilidad y la competitividad (Argote, 1999, p. 60). Dos aspectos deben ser considerados en el modelo que busca representar el aprendizaje en los SRI, el primero de ellos es el desaprendizaje y el segundo el olvido, este último no será tomado en cuenta en el modelo.

A menudo se argumenta que las organizaciones deben desaprender sus viejas prácticas con el fin de permitir aprender nuevas formas de hacer las cosas. Esta perspectiva implica no sólo la creación de nuevas

capacidades y conocimientos, sino también la eliminación de los ya existentes, sobre todo cuando el nuevo conocimiento choca de manera significativa con lo existente (Martin de Holan & Phillips, 2004). Desaprender es entonces positivo, pues cuando un conocimiento es viejo y no se ha renovado oportunamente le impedirá a la organización la posibilidad de adaptarse a las nuevas exigencias del entorno en el que compete (Hedberg, 1981).

Hedberg afirma que desaprender es un complemento necesario al concepto de aprendizaje organizacional y sostiene que desaprender es distinto a aprender, pero conceptualmente es necesario entender cómo las organizaciones aprenden porque el conocimiento crece y se convierte al mismo tiempo en obsoleto si la realidad cambia (Hedberg, 1981, p. 3). Como resultado, las organizaciones desaprenden necesariamente, es decir, se enganchan en un proceso a través del cual los aprendices descartan algunos conocimientos (Hedberg, 1981, p. 18) y ciertas capacidades adquiridas.

El desaprendizaje puede definirse entonces como el proceso de reducción o eliminación de los conocimientos o hábitos preexistentes que de otra manera representan barreras formidables para el aprendizaje (Newstrom, 1983). A partir de esta definición, se puede entender mejor cómo la gestión del desaprendizaje podría ser beneficiosa para la organización. Mu-

chos investigadores señalan que es necesario el desaprendizaje para que ocurra el aprendizaje. Por ejemplo, (Anand, Manz, & Glick, 1998) señalan que existen circunstancias en las que "la memoria existente puede ser un obstáculo más que una ayuda" (Anand, Manz, & Glick, 1998, p. 806). Del mismo modo, Crossan, Lane y White (1999) argumentan que "[...] la tensión entre la asimilación del nuevo aprendizaje y el uso de lo que ya se ha aprendido (retroalimentación), surge porque el aprendizaje se ha institucionalizado (lo que ya se ha aprendido) impidiendo así la asimilación del nuevo aprendizaje" (Crossan, Lane, & White, 1999, p. 533).

Aunque generalmente estos investigadores han adoptado un enfoque de aprendizaje conductual centrándose en rutinas y procedimientos operativos estándar, otros investigadores (por ejemplo, (Bettis & Prahalad, 1995) y (Miller, 1993; 1994) han adoptado una visión más cognitiva, argumentado convincentemente que el hecho de no descartar o desaprender viejas lógicas dominantes es una de las principales razones por las cuales las organizaciones encuentran tan difícil ajustar sus comportamientos a las nuevas condiciones ambientales, incluso cuando tienen y presentan una clara evidencia de los cambios en su entorno. Al darse cuenta de la dificultad de las organizaciones para diversificarse, incluso la dificultad de un rápido cambio en el *core* del negocio, estos autores sostienen que no es necesariamente un pro-

blema solo de las rutinas sino también de las representaciones colectivas del mundo que forman puntos de vista diferentes y alternativos que probablemente lo dificultan, impidiendo a los miembros de la organización captar y notar la necesidad para del cambio o interpretar los cambios para así poder comprender sus consecuencias, sin ser ciegos a los estímulos de su entorno (Kiesler & Sproull, 1982).

En consecuencia, las viejas lógicas dominantes (megarrutinas) son uno de los factores más importantes que impiden a las organizaciones descartar el conocimiento antiguo, como una parte crucial del conocimiento organizacional para desaprender cuando las circunstancias lo exigen, dado que son propiedades inherentemente adaptativas, siempre y cuando ni el dominio de la aplicación ni el entorno cambie significativamente (Bettis, Wong, & Blettner, 2011). Desde esta perspectiva, las lógicas dominantes representan la visión cognitiva del aprendizaje, donde este es visto como un lente que le permite a la organización y a sus miembros entender de manera colectiva el entorno en el que opera y las respuestas adecuadas a ese entorno.

El enfoque que adopta el modelo se puede resumir en la siguiente pregunta: ¿cómo los agentes que desaprendan y replanteen sus éxitos del pasado para adaptarse a las condiciones y situaciones ambientales cambiantes de un entorno competitivo, tendrán una mayor probabilidad de su-

pervivencia y adaptación en un SRI? Desde este enfoque el desaprendizaje es visto como una dimensión fundamental del cambio, ya que, como argumentan Tsang y Zahra (2008), desaprender se refiere al descarte de viejas rutinas y capacidades para dar paso a otras nuevas (Tsang & Zahra, 2008). Desde esta perspectiva, desaprender se define mejor como el acto de eliminar o descartar aquel conocimiento y sus capacidades de forma voluntaria, sin que necesariamente se creen nuevos conocimientos o capacidades, aunque a menudo existe una estrecha asociación. Esta perspectiva es la que persigue el modelo propuesto en esta investigación.

El desaprendizaje en el modelo es producto de la no interacción y, por ende, del no uso de las capacidades de innovación. Por lo tanto, se representa a través de la desacumulación en las capacidades de los agentes del sistema, comportamiento dependiente de la tasa o factor de desaprendizaje que adopta el sistema. Las capacidades pueden perseguir una trayectoria de desacumulación con respecto a su grado de complejidad. Por ejemplo, pueden pasar de una magnitud o grado de complejidad avanzado a intermedio para luego llegar a un grado de complejidad bajo. Esto último, como se mencionó, es producto del no uso y de la no interacción de los agentes del sistema.

### 3. Formulación de un modelo para analizar el aprendizaje en los sistemas regionales de innovación

#### 3.1. Introducción

Para que un sistema sea considerado de innovación debe cumplir con las funciones de generación, difusión y uso del conocimiento (Carlsson et al., 2002). Estos propósitos son alcanzados a través de las capacidades que aportan los agentes que interactúan en el sistema para suplir necesidades de un entorno competitivo. Las capacidades son las que diferencian a cada agente permitiéndoles ser heterogéneos atribuyéndoles la posibilidad de interactuar y complementar sus capacidades a través de alianzas estratégicas que podrían generarles mayores beneficios (Teece, 1988). Las capacidades que se requieren para el proceso de innovación en el modelo son las de I+D, de vinculación y de producción y mercadeo. Existen otras capacidades igualmente importantes, pero no se tuvieron en cuenta



dada la dificultad de atribuirles una función específica según Carlsson et al., (2002).

La compensación y el equilibrio que buscan las organizaciones entre invertir en nuevos conocimientos (exploración) su apropiación y posterior transformación (explotación) resulta de suma importancia en los sistemas de innovación, específicamente en aquellos sistemas donde no solo la perspectiva de cercanía, sino también la complementariedad en el conocimiento, permite a los agentes de un sistema su evolución por la vía de la interacción. El modelo que se describe a continuación simula los procesos y las dinámicas de aprendizaje de un SRI desde la perspectiva de un SCA y bajo el paradigma de los ABM. De igual forma, el modelo representa, describe y simula las características, normas y mecanismos de funcionamiento de las dinámicas de aprendizaje en un SRI. El modelo identifica y presenta los diferentes roles y define el entorno de interacción entre los agentes que representan la estructura y el comportamiento de un SRI. Así mismo, describe los procedimientos y las ecuaciones matemáticas para cada relación e interacción para su posterior implementación y verificación en la plataforma de interfaz escogida.

### 3.2. Supuestos del modelo

Para poder analizar el aprendizaje en un SRI a través de un modelo de simulación, es necesario tener en cuenta el concep-

to de aprendizaje. El aprendizaje se comprende como las dinámicas en que la empresa acumula capacidades y, por ende, competencias nucleares (Robledo, 2013). Del mismo modo, se debe comprender el concepto de un SRI, definido como la "infraestructura institucional que apoya a la innovación en la estructura productiva de una región" (Asheim & Gertler, 2005, p. 299 traducción del autor).

Así mismo, se debe comprender que un SRI emerge de la interacción de agentes heterogéneos (Edquist C., 1997) que pueden ser "exploradores, explotadores e intermediarios o catalizadores" (Ponsiglione, Quinto, & Zollo, 2014, p. 6). Dichos agentes, que denominaremos agentes competidores, se encuentran implicados en un aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992) donde la proximidad es clave para la producción, transmisión y compartición del conocimiento (Malberg y Maskell, 1997; Lundvall, 1992). Es importante tener en cuenta que el aprendizaje interactivo no resulta tan fácil (Lundvall, 1985; 1988; 1992) en los sistemas de innovación, dado que se caracteriza por su arraigo al territorio y por estar insertado localmente, dando lugar a capacidades localizadas y distribuidas desigualmente (Malberg & Maskell, 1997; 1999; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004) en todo el sistema. El modelo debe de permitir realizar experimentos con los agentes del SRI para poder analizar el aprendizaje interactivo y así representar los patrones de aprendizaje que adopte el

sistema, de forma tal que se permitan diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un mejor desempeño.

Las capacidades que requiere el SRI para realizar sus funciones de generar, difundir y usar conocimiento y tecnología, están distribuidas entre los diferentes agentes competidores (exploradores, explotadores e intermediarios o catalizadores) así: los agentes explotadores poseen capacidades de producción y mercadeo de la innovación; los agentes intermediarios o catalizadores tienen capacidades de difusión y/o vinculación; los agentes exploradores presentan capacidades de investigación y desarrollo. Cabe anotar que los agentes no son especializados en una función; el modelo permite que los agentes puedan ejercer varias funciones, por lo que existen agentes que se pueden presentar capacidades para explotar e intermediar; explorar e intermediar; explorar, intermediar y explotar; y explorar y explotar.

Para que un agente competidor pueda considerarse competente, sus capacidades deben ser validadas por un entorno competitivo o mercado. Lo anterior lleva a representar el mercado con el agente entorno competitivo; este representa las necesidades que requieren ser satisfechas por los agentes competidores del SRI; los agentes competidores deben contar con capacidades mínimas para poder cumplir con los atributos que demanda cada necesidad, dándole al modelo un comportamiento desde la perspectiva *market pull*

(Rothwell, 1994). Los atributos son representados por vectores que representan las oportunidades de Innovación del sistema. Los valores de los atributos en cada posición del vector de atributos determinan los tipos de oportunidades de innovación que demanda el entorno competitivo (ver Tabla 3-1, página siguiente).

La distinción y consideración significativa del modelo con relación a otros modelos es la representación del aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992), aprendizaje que se sustenta desde las dinámicas en la acumulación las capacidades y, por ende, un mejoramiento de sus competencias nucleares (Robledo, 2013). En este sentido, el modelo permite analizar y comprender no solo dinámicas de aprendizaje del tipo *doing-interacting* sino también analizar los patrones de acumulación de las capacidades de innovación del sistema por medio de un factor de aprendizaje que es definido para el sistema; la distinción de la heterogeneidad de los agentes es clave y significativa en comparación con otros modelos que representan los agentes heterogéneos a través de un vector de capacidades, para los agentes competidores y un vector de atributos, para el agente entorno competitivo; el vector otorga la posibilidad de interacción entre agentes a través de reglas de decisión "cercanía y complementariedad en las capacidades".

En esta perspectiva, las capacidades que tienen los agentes son para integrar, construir y reconfigurar bienes y servicios así

Tabla 3-1. Características de las oportunidades de innovación y capacidades requeridas

Características de las oportunidades de innovación	Capacidad requerida	Contexto
Explotadoras	Capacidades de producción y/o mercadeo	Se requieren mejoras en la producción y comercialización, calidad y costos, proceso productivo, producto y/o en sus canales de distribución.
Difusoras	Capacidades de difusión y/o vinculación	Se requiere difundir un nuevo conocimiento o tecnología; transferir tecnología para ser apropiada y utilizada por agentes que exploran y explotan el conocimiento, el rol es intermediar.
Exploradoras	Capacidades de I+D	Requiere una invención o mejora tecnológica a partir de una invención o patente que dé solución al problema tecnológico que no ha sido logrado a través del estado actual de la técnica.
Explotadoras-difusoras	Capacidades de explotación y difusión	Estado de la técnica o tecnología requerida para difundir en el entorno; explotadores que tengan capacidades altas en VTelC apropian los conocimientos mediante la interacción con otros agentes intermediarios con capacidades de difusión, ejemplo: CDT, OTRI, etc.
Exploradoras-difusoras	Capacidades de generación y difusión	Se requiere una invención o mejora en el estado actual de la técnica; se suple a través del desarrollo de un nuevo o mejorado producto y su procedimiento, como resultado se puede proteger para su posterior difusión y uso, ejemplo: patente, modelo de utilidad, etc.
Exploradoras-difusoras-explotadoras	Capacidades de generación, difusión y uso	Se requiere una invención o mejora del estado actual de la técnica y su posterior difusión y explotación; se suple a través del desarrollo de todas las etapas del proceso de innovación, generación, difusión y uso.
Exploradoras-explotadoras	Capacidades de generación y explotación de conocimiento	Se requiere una invención o mejora del conocimiento y su posterior explotación; tal requerimiento puede ser suplido a través de una invención o mejora que sea susceptible de protegerse industrialmente, secreto industrial etc. con fines de mantener una ventaja competitiva.
Capacidades básicas primarias	Capacidades básicas de generación, difusión y uso	No se requiere de capacidades avanzadas para satisfacer el entorno; sin embargo, se requiere de unas capacidades de innovación intermedias y/o básicas por parte de los agentes para lograrlo. Algunos entornos o SR/presentan estas características, son entornos poco exigentes.

Fuente: Elaboración propia.

como sus competencias, haciendo frente a entornos que cambian rápidamente (Teece, Pisano, & Shuen, 1997). Las competencias son representadas en los patrones de aprendizaje como lo sugiere Teece et al., (1997, p. 518), aprendizaje que es localizado en las cercanías de las actividades previas debido a las restricciones que imponen las rutinas (Teece, 1998).

### 3.3. Modelo conceptual

A continuación se describen los agentes y se simulan las características, normas y mecanismos de funcionamiento de las dinámicas de aprendizaje interactivo en un SRI. El modelo presenta dos tipos diferentes de agentes. Un primer tipo denominado entorno competitivo (CE) y un segundo tipo conformado por los denominados agentes competidores ( $A_{js}$ ) encargados de explorar, difundir y explotar nuevo conocimiento (centros de investigación, laboratorios, universidades, firmas e intermediarios o catalizadores) en una región (ver Figura 3-1, página siguiente).

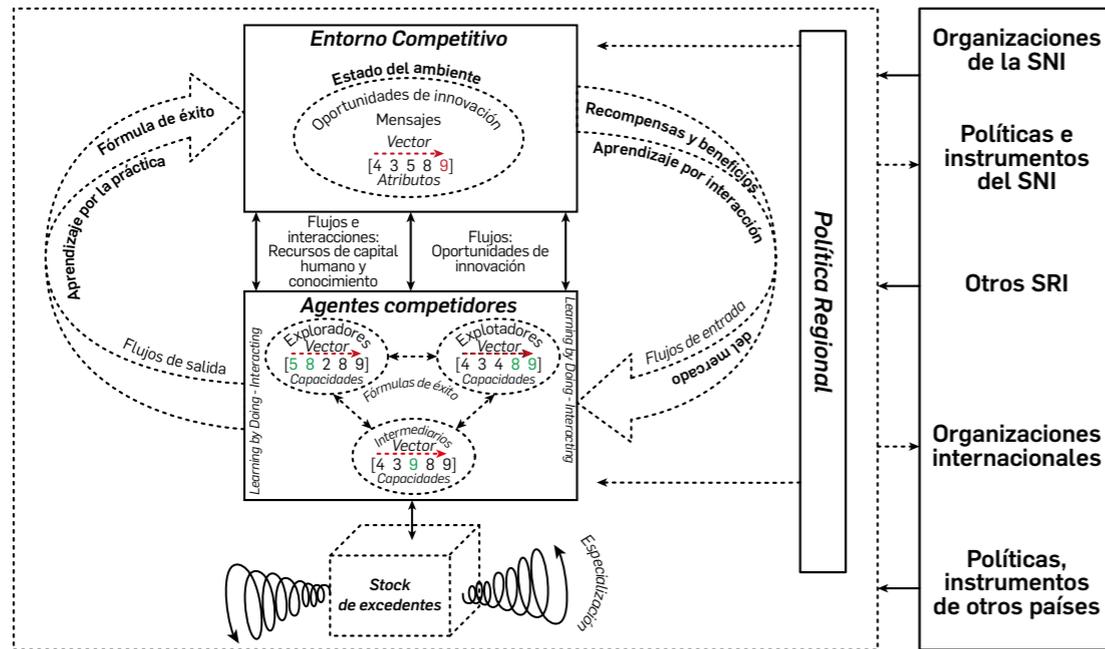
El modelo representa cinco procedimientos: 1) la generación de las oportunidades de innovación (OI), entendidas como las demandas generadas por el entorno competitivo; 2) la construcción de fórmulas de éxito (SF), concebidas como la oferta que generan los agentes en respuesta a las oportunidades de innovación; 3) las reglas de decisión que definen el comportamiento de los agentes (búsqueda de agentes como socios localizados y complementarios y

eventual establecimiento de alianzas); 4) la recompensa, función de costos y beneficios; y, por último, 5) el procedimiento de aprendizaje de tipo *doing - interacting (LDI)* y coevolución del sistema.

#### 3.3.1. Oportunidades de innovación y entorno competitivo

El agente entorno competitivo ofrece las oportunidades de innovación con sus respectivos atributos y determina, en un periodo de tiempo (en adelante *tick*), una demanda aleatoria. Tal demanda es representada a través de mensajes ( $Mi$ ) y está definida por un vector de atributos de longitud  $l=5$  (ver Figura 3-2, página siguiente), una volatilidad ( $v$ ) y un tiempo del ciclo de vida de la innovación ( $t_{ic}$ ), que corresponde al periodo en el cual el agente o los agentes capaces de satisfacer la demanda recibirán beneficios. Es de anotar que las oportunidades de innovación son producidas aleatoriamente en cualquier localización geográfica del sistema, por lo que la posibilidad de que un agente las visualice dependerá de su cercanía geográfica del lugar de nacimiento de la oportunidad de innovación como se esquematiza en la Figura 3-3 (ver página siguiente).

La volatilidad representa el tiempo en que permanece en el sistema una oportunidad de innovación, si esta no es aprovechada antes de desaparecer, partirá a otros sistemas que tengan la capacidad para utilizarla. Por otra parte, las oportunidades de innovación también poseen un ciclo de



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1. Modelo de aprendizaje en un SRI

vida, el cual determina el tiempo en el que entregan a los agentes sus beneficios, siguiendo un comportamiento *gaussiano* característico de las curvas de difusión de las innovaciones (Rogers, 2003). El comportamiento anterior le otorga al modelo un enfoque de jalonamiento del mercado, *market-pull*, presente en los modelos de innovación a partir de la segunda generación (Rothwell, 1994), enfoque que marca una diferencia importante con el modelo *SKIN* y su limitación al respecto.

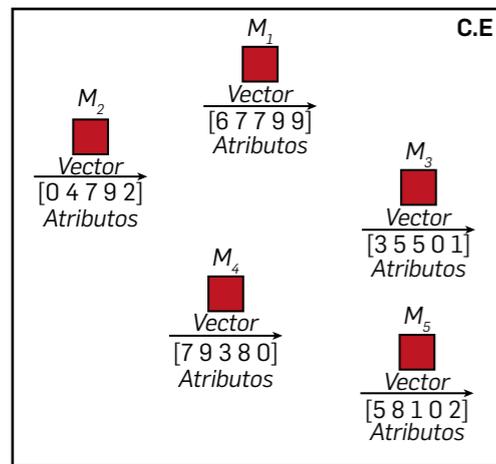
### 3.3.2. Construcción de fórmulas de éxito

Las fórmulas de éxito se construyen a través de la interacción entre los agentes competidores y el entorno. Un agente competidor puede construir una o varias fórmulas de éxito por medio de su vector de capacidades, solo o en relación con agentes que poseen capacidades complementarias. Con el fin de simular un sistema dinámico, el modelo representa el surgimiento de nuevas empresas con la posibilidad de establecer diferentes tasas de nacimiento para los agentes, quienes nacen aleatoriamente localizados y provistos de su respectivo vector de capacidades de longitud  $l=5$ . Dicho vector está compuesto de cinco posiciones con sus respectivas magnitudes. Cada posición señala un atributo específico que demanda la oportunidad de innovación y simboliza en el agente competitivo el carácter explorador y explotador de sus capacidades.

Cada capacidad está definida por su posición: las posiciones de la derecha del vector representan capacidades de explotación como las capacidades de mercadeo y producción, mientras que las posiciones de la izquierda representan las capacidades de exploración como las capacidades de investigación y desarrollo. La posición central representa las capacidades de vinculación y/o intermediación. La magnitud en ambos vectores comprende valores inicialmente aleatorios entre 0 y 9, representando el grado del atributo requerido por la oportunidad de innovación y el nivel de la capacidad del agente competidor.

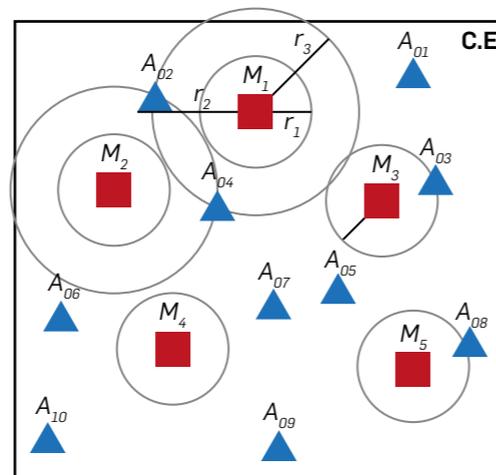
Los agentes aprovechan las oportunidades de innovación de la siguiente manera: primero, buscan suplir los atributos explotadores (mercadeo y producción) y luego los exploradores (desarrollo e investigación), siguiendo la orientación a suplir necesidades de corto plazo por parte de los agentes explotadores y de largo plazo de los agentes exploradores expuestos en el ciclo de exploración-explotación de Gilsing y Nooteboom (2006).

A partir de la lógica en la construcción de las fórmulas de éxito por parte de los agentes competidores, se podría definir aún mejor las oportunidades de innovación: son los  $l$  atributos de la innovación que buscan ser satisfechas por las  $l$  capacidades de los agentes competidores, a través de la construcción de fórmulas de éxito de manera



Fuente: Elaboración propia a partir de la plataforma de interfaz NetLogo.

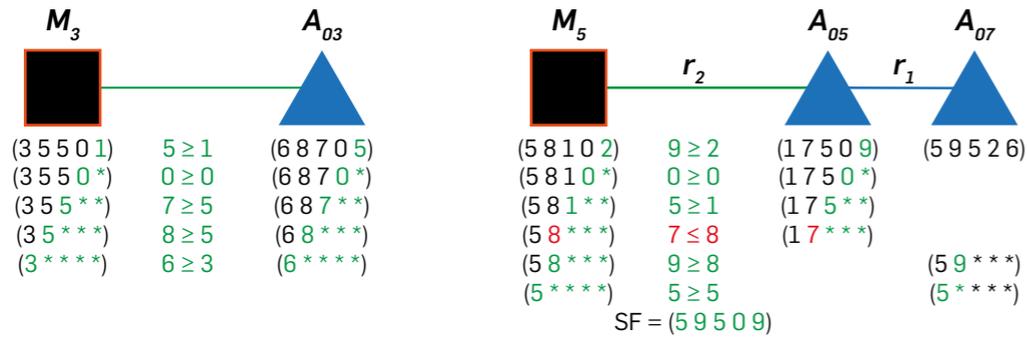
Figura 3-2. Vectores de atributos de Mi



Fuente: Elaboración propia a partir de la plataforma de interfaz NetLogo.

Figura 3-3. Localización geográfica

individual o por medio de la interacción con otros agentes como se esquematiza en las Figura 3-4 y Figura 3-5.



Fuente: Elaboración propia a partir de la plataforma de interfaz NetLogo.

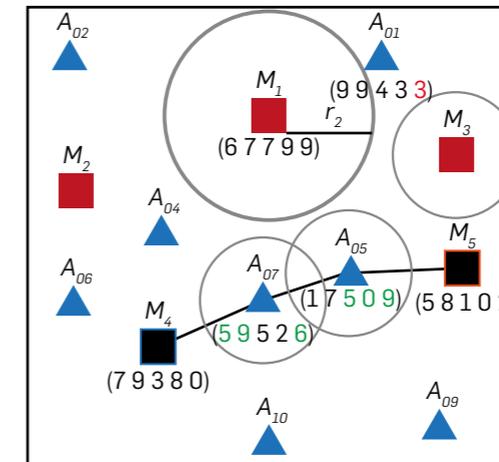
Fuente: Elaboración propia a partir de la plataforma de interfaz NetLogo.

Figura 3-4. Construcción de una fórmula de éxito "SF" por parte de un solo agente

Figura 3-5. Construcción de una fórmula de éxito "SF" a través de dos agentes

### 3.3.3. Reglas de decisión que definen el comportamiento de los agentes

Las interacciones entre los agentes se dan a través de dos mecanismos o reglas de decisión. La primera se denomina distancia de localización entre agentes (*dL*), definida como la menor distancia geográfica de radio (*r*) que separa los agentes. La segunda distancia se denomina distancia de complementariedad de las capacidades (*dC*), que es la menor distancia entre las magnitudes de las posiciones de los vectores de los agentes. Con base en estas dos reglas se inicia la construcción de una fórmula de éxito. Así, una vez interactúa un agente competidor con una oportunidad de innovación por distancia de localización, se da inicio al segundo mecanismo de interacción que consiste en comparar las magnitudes de los vectores. Si el vector de capacidades es mayor o igual en su última posición al vector de atributos de la oportunidad de innovación, el mensaje será visible para el agente y se repetirá el proceso comparativo entre las posiciones siguientes (sentido de derecha a izquierda) de los vectores de los agentes como se esquematiza en la Figura 3-6.



Fuente: Elaboración propia a partir de la plataforma de interfaz NetLogo.

Figura 3-6. Construcción de una fórmula de éxito "SF" a través de los mecanismos de interacción (*dL* y *dC*)

Si un agente competidor presenta magnitudes iguales o superiores en todas las posiciones comparativamente con el vector de atributos de la innovación, será capaz por sí solo de construir una fórmula de éxito. Ahora bien, si la magnitud en la posición del extremo derecho del vector de capacidades es menor que la magnitud correspondiente del vector de atributos, el agente no identificará la oportunidad de innovación por mínima que sea su distancia de localización. Dicho comportamiento se puede observar en las dinámicas de innovación jalonadas por el mercado, y en el cual son los agentes explotadores quienes están en mejor capacidad de visualizar y evaluar una oportunidad de innovación.

Es posible que un único agente no tenga todas las capacidades necesarias (magnitudes iguales o superiores en todas sus posiciones) para aprovechar la oportunidad de innovación después de identificarla; por lo tanto, el agente iniciará la exploración y búsqueda de otros agentes por los mismos mecanismos o reglas de decisión descritos anteriormente, con el fin de responder y suplir la demanda. Autores como (Cohen & Levinthal, 1989; 1990) señalan que una firma a través de la capacidad de mercadeo es más capaz de reconocer y explotar una nueva información relevante para un mercado de productos en particular (Abernathy, 1978; Rosenberg, 1982). Por último, las distancias de localización y complementariedad representan mecanismos de comparación desde las posicio-

nes más explotadoras (derecha) hacia las posiciones más exploradoras (izquierda) del agente, debido a las características de corto plazo que posee la explotación para la supervivencia de los agentes, tal como se pone de manifiesto en los ciclos de exploración y explotación de (Gilsing & Nooteboom, 2006).

### 3.3.4. Recompensa, función de costos y beneficios

Los agentes competidores nacen provistos de un stock de excedentes asignado aleatoriamente. Las magnitudes de un vector de atributos determinan el máximo beneficio que pueden obtener los agentes competentes; tales beneficios tienen como supuesto un comportamiento *gaussiano* para el modelo y representan el procedimiento de recompensa, función de costos y beneficios. Los agentes que identifiquen y se apropien de una oportunidad de innovación a través de una fórmula de éxito, obtendrán beneficios que son calculados mediante la Ecuación 2.

#### Ecuación 2

$$B_{kt} = AI_k * PA_k * e^{-\frac{(t - \mu)}{2\sigma^2}}$$

Donde:

$B_{kt}$  es el beneficio por atributo en un periodo,

$t$  es el periodo en el que se encuentra el tiempo del ciclo de vida de la oportunidad de innovación ( $t_{ci}$ ),

$k$  es la posición en el vector,

$AI_k$  es el ingreso del vector de atributos en la posición  $k$ ,

$PA_k$  es la magnitud del vector de atributos en la posición  $k$ ,

$\mu$  es la media de la función *gaussiana* (para el modelo tendrá un valor de  $t_{ci}/2$ ) y  $\sigma$  es la variable aleatoria (para el modelo tendrá un valor de  $t_{ci}/6$ ) correspondiente a la desviación estándar de la función *gaussiana* del  $t_{ci}$ .

En cada periodo los agentes incurrirán en un costo, interpretado como el costo de sostener las capacidades en un periodo determinado. Este costo se calcula mediante la Ecuación 3.

#### Ecuación 3

$$CCV = \sum_{k=1}^m CC_k PC_k$$

Donde:

CCV es el costo total del vector de capacidades del agente,

$k$  representa la posición en el vector del agente,  $m$  es la cantidad de posiciones del vector,

$CC_k$  es el costo de una capacidad en su posición  $k$ ,

$PC_k$  es la magnitud del vector de capacidades en la posición  $k$ .

Si la diferencia entre los beneficios y los costos de un agente son iguales a cero, el agente habrá consumido todo su stock de excedentes y morirá; si son positivos, estos se acumularán en dicho periodo y se calculan mediante la Ecuación 4.

#### Ecuación 4

$$SE_{t+1} = SE_t + B_t - CCV_t$$

Donde:

$SE_{t+1}$  es el stock de excedentes del sistema en el periodo  $t$ ,

$SE_t$  es el stock de excedentes del sistema en el periodo  $t-1$ ,

$B_t$  son los beneficios del sistema en el periodo  $t$ ,

$CCV_t$  es el costo de mantenimiento de las capacidades del sistema en el periodo  $t$ .

### 3.3.5. Aprendizaje doing – interacting

El modelo operacionaliza las dinámicas de aprendizaje desde la perspectiva del crecimiento de las firmas a partir de los recursos y las capacidades de innovación, posibilitando la competencia entre agentes con base en sus capacidades distintivas o competencias nucleares. Teniendo en cuenta que el aprendizaje se manifiesta

en las cercanías de las actividades previas de las firmas (Teece, 1988), el modelo considera que aquellos agentes que utilicen sus capacidades las reforzarán gracias a la experiencia y al premio o recompensa otorgado por el entorno, evidenciándose el *learning by doing*. De igual forma, aquellas capacidades que no se utilicen se debilitarán hasta que el agente las pierda y muera. Así, las fórmulas de éxito son producto del *learning by doing and interacting* (LDI); dicho procedimiento incrementa las habilidades y las capacidades usadas, así como la experiencia de los agentes que interactúan. Este comportamiento corresponde a una dinámica de aprendizaje y desaprendizaje cuyas trayectorias son funciones sigmoideas o curvas en S calculadas mediante las Ecuaciones 5 y 6.

#### Ecuación 5

$$\frac{K}{1 + e^{-\gamma t}}$$

#### Ecuación 6

$$\frac{K}{1 + e^{\delta t}}$$

Donde:

$K$  es la magnitud o valor máximo que puede tomar una capacidad,

$\gamma$  y  $\delta$  denotan los factores de aprendizaje y desaprendizaje respectivamente y

$t$  es el tiempo en que se usa la capacidad.

Cuanto más se utilice una capacidad en el tiempo  $t$ , su acumulación producto del *learning by doing* presentará una trayecto-

ria dependiente del factor  $\gamma$ ; por ejemplo, capacidades básicas y avanzadas (magnitudes bajas y altas) al ser utilizadas, presentan dinámicas de aprendizaje más lentas y prolongadas que aquellas capacidades intermedias que presentan dinámicas de aprendizaje más rápidas.

De manera inversa, el no uso de las capacidades en el tiempo generará la desacumulación de las capacidades producto del *un-learning by not doing* (UBND). Lo anterior denota que el pasado ha sido importante para los agentes, siendo más difícil la pérdida de las capacidades que han sido significativas, relacionando dicho comportamiento con las rutinas que se han adquirido por experiencia previa (Nelson & Winter, 1982). Aquellos agentes que no logren conectarse en las dinámicas de interacción, mantendrán estáticas las magnitudes y los costos de sus capacidades, agotando en el tiempo su stock de excedentes.

El modelo enfatiza las dinámicas de aprendizaje interactivo (Lundvall, 2007; Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall, 2007) y, en particular, el patrón o velocidad con que se acumulan las capacidades de innovación a partir de un factor de aprendizaje que adopta el sistema. El aprendizaje interactivo no solo genera competencias en el sistema, también fenómenos emergentes como la especialización del sistema.

Para finalizar, la coevolución de los agentes puede observarse a través de la acumulación o desacumulación de las capaci-

dades, gracias al aprendizaje o desaprendizaje que se presenta por *doing-interacting* (Lundvall, 2007). Gracias a que las capacidades son dinámicas, se puede decir que la variación en ellas es intencional (Helfat et al., 2007), lo que quiere decir que cuando los agentes aprovechan las oportunidades de innovación, ya sea de forma individual o mediante la interacción con otros, las capacidades que se están usando se acumulan y las que no, se desacumulan con un factor de aprendizaje y de desaprendizaje que se establece para el sistema y depende de su marco contextual que acelera o restringe el aprendizaje (Lund, 2004).

### 3.4. Parámetros

A continuación se definen los parámetros para la simulación del modelo.

- **Número inicial de oportunidades de innovación:** Representa la cantidad de innovaciones que demanda el entorno competitivo, se asume que cuanto mayor sean las oportunidades de innovación, mayor será la probabilidad por parte de los agentes competidores de innovar en el *SRI*. Sin embargo, la innovación depende no sólo de las capacidades de los agentes para innovar y responder la demanda, sino también de la recompensa del entorno que afecta los beneficios de los agentes. En el modelo, las oportunidades de innovación nacen con un vector de atributos de cinco posiciones con magnitud aleatoria de cero a nueve cada una;

de igual forma, la ubicación geográfica es asignada de forma aleatoria.

- **Volatilidad máxima de las oportunidades de innovación:** Se asigna un tiempo máximo en el que las oportunidades de innovación permanecen en el entorno competitivo sin ser satisfechas; pasado este periodo, de no ser atendidas, las oportunidades de innovación desaparecen. En el modelo de simulación se asigna la volatilidad máxima en años y se establece aleatoriamente un valor a cada oportunidad de innovación que surge en el entorno competitivo, desde uno hasta el valor máximo asignado.
  - **Tiempo máximo de ciclo de vida de las innovaciones:** Las oportunidades de innovación nacen con un  $t_{ilc}$ , que significa el tiempo en que se benefician los agentes que aprovechen las oportunidades de innovación. Al inicio del modelo de simulación se asigna el tiempo máximo y se establece aleatoriamente un valor a cada oportunidad de innovación que surge en el entorno competitivo, desde uno hasta el valor máximo asignado.
  - **Número inicial de agentes competidores:** Este parámetro representa el número de agentes competidores iniciales del sistema, los cuales nacen con vector de capacidades de cinco posiciones con magnitud aleatoria de cero a nueve cada una; de
- igual forma, la ubicación geográfica es asignada de manera aleatoria al nacer el agente competidor. La tipología del agente la define la magnitud de las capacidades en cada posición, lo que significa que para el modelo la tipología del agente es asignada de manera aleatoria.
- **Tasa de nacimiento de las oportunidades de innovación:** Significa cómo pueden renovarse periodo a periodo las oportunidades de innovación del entorno competitivo. Esta variable depende de qué tan dinámico o no sea el entorno competitivo en una región; cuanto mayor sea una tasa de surgimientos de oportunidades de innovación, mayor será la probabilidad de que se enganchen los agentes del sistema en dinámicas de interacción innovadoras.
  - **Ingreso por atributo:** El parámetro asigna un premio o recompensa por parte del entorno competitivo para cada posición del vector de atributos de las oportunidades de innovación. La magnitud de los atributos por posición y el  $t_{ilc}$  se relacionan para calcular los beneficios por periodo mediante la ecuación (1) descrita anteriormente.
  - **Costo por capacidad:** Este parámetro ejemplifica el costo de mantener cada tipo de capacidad del vector de capacidades de cualquier agente en el sistema. El costo de mantenimiento de un vector de capacidades (*CCV*) se

calcula usando la ecuación (2) descrita anteriormente.

- **Stock de excedentes máximo:** Este parámetro se puede considerar como los recursos económicos máximos con los que puede nacer un agente en el sistema. Tal recurso es el que le permite sobrevivir a cualquier agente competidor. El stock de excedentes se actualiza periodo a periodo para cada agente y para el sistema aplicando la ecuación (3) descrita anteriormente.
- **Factor de aprendizaje:** Este factor significa la velocidad con la que los agentes competidores acumulan sus capacidades de innovación. Este parámetro afecta la ecuación (4) descrita anteriormente, donde  $K$  es la magnitud o valor máximo que puede tomar una capacidad "magnitud máxima 9",  $\gamma$  denota el factor de aprendizaje que adopta el sistema, y  $t$  es el tiempo de uso de la capacidad.
- **Factor de desaprendizaje:** De forma similar al factor anterior, denota la velocidad a la que los agentes del sistema desacumulan las capacidades de innovación. Este parámetro afecta la ecuación (5) descrita anteriormente, donde  $K$  denota la magnitud o valor máximo que puede tomar una capacidad,  $t$  es el tiempo del no uso de la

capacidad,  $\delta$  denota el factor de desaprendizaje que adopta el SRI.

### 3.5. Parametrización

A continuación se presentan los valores elegidos de los parámetros del modelo, que serán la base desde la que se realizarán las simulaciones de los diferentes escenarios para el análisis de las dinámicas de aprendizaje y sus patrones a través de la interacción entre agentes, de forma tal que se permita diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un mejor desempeño del SRI. A continuación se presentan los valores para los parámetros del modelo calibrado. Estos valores conforman un sistema estable y sostenible en el tiempo como inicio para las simulaciones (ver Tabla 3-2).

La programación del modelo se realizó en la plataforma NetLogo 5.1.0, esta programación consiste en la construcción de varios procedimientos que se pueden observar en el Anexo B. Los procedimientos mencionados son equivalentes a los submodelos que componen todo el modelo y se les debe hacer seguimiento para verificar y comprobar que el comportamiento del modelo computacional es el correcto. Por consiguiente, para aplicar una técnica de verificación, primero se nombra y revisa la lógica del procedimiento y luego se comprueba si el comportamiento del modelo corresponde con el raciocinio de dicho procedimiento.

Tabla 3-2. Descripción de los parámetros del modelo

VARIABLES	DESCRIPCIÓN Y VALORES INICIALES
Longitud de cadena	Longitud de cadena de los vectores: atributos y capacidades. Se compone de cinco posiciones para el modelo; cada posición señala el atributo específico que demanda la oportunidad de innovación y simboliza el carácter de exploración, explotación o intermediación del agente competente. Valor: $l=5$ .
Magnitud	Es la magnitud de cada posición del vector. Representa el grado del atributo en una oportunidad de innovación y señala el nivel de la capacidad en un agente competente; comprende valores aleatorios entre 0-9.
Número inicial de agentes	Es la cantidad o número de agentes iniciales en el modelo, el número de oportunidades de innovación y de agentes competidores es 40 y 20 respectivamente (dinámicas jalonadas por el mercado Market-Pull). El objetivo de dicho número de agentes, fue garantizar el equilibrio del sistema en el tiempo así como el de analizar que tanto influyen en la supervivencia y su comportamiento en el tiempo.
Tasas de nacimientos de los agentes	Porcentaje de surgimiento de las oportunidades de innovación y de nacimiento de los agentes competidores con relación de la población existente en un periodo o <i>tick</i> . Las tasas tienen por objetivo representar un sistema dinámico; para el modelo las tasas son: 18% para las O.I y 10% para los agentes competentes. Luego de varias simulaciones, el porcentaje mínimo de renovación de las oportunidades de innovación para tener un sistema estable en el tiempo fue de 18%, dado que se requiere reemplazar aquellas O.I que mueren por no ser suplidas (volatilidad) así como las que cumplen con su ciclo de vida. El valor equivalente de nacimiento de nuevos agentes o empresas en el sistema fue de un 10%, esto significa que si el 25% de los agentes iniciales sobreviven, se permitirá una renovación de al menos un agente por período. El valor es congruente con el rango de densidad de nuevas empresas o emprendimientos que nacen en un sistema para que se mantenga vivo en el tiempo, tales cifras son reportadas por el Banco Mundial de algunas economías (Doing Business, 2013) latinoamericanas, destacándose Panamá como la cifra más alta y significativa con una tasa de nuevos emprendimientos del 14,1%.
Factores de aprendizaje y desaprendizaje ( $\gamma$ - $\delta$ )	Es el cambio en la magnitud de una o varias posiciones del vector de capacidades del agente competidor en un periodo de tiempo. La magnitud de una posición podrá entonces aumentar o disminuir por el uso o no de una capacidad. Para el modelo los factores $\gamma$ y $\delta$ toman valores entre 0,1 - 0,9. Para el modelo calibrado o escenario base el factor $\gamma$ y $\delta$ es de 0,3, dicho factor fue calculado con base en los datos de los estudios empíricos acerca del comportamiento de las capacidades tecnológicas realizados en Asia (Hobday, 1995; 1997; Kim, 1999), este valor significa que se puede llegar de una capacidad básica a una avanzada en 37 años. Sin embargo, el periodo para las simulaciones fue de 50 años o <i>ticks</i> .
Ciclo de vida de las oportunidades de innovación ( $tlc_i$ )	Periodo de tiempo en el cual una oportunidad de innovación es suplida satisfactoriamente produciendo beneficios. Para el modelo el $tlc_i$ que se le asigna a los mensajes es aleatorio, el valor máximo es de 15 años limitando la posibilidad de que algunos productos puedan tener una duración mayor en el mercado, sin embargo es poco probable dado el nivel de competencia de los sistemas económicos actuales.
Ingreso por Atributo ( $A_{ik}$ )	Es el ingreso o la recompensa que entrega una oportunidad de innovación en una posición $k$ . Los agentes capaces de suplir una o más posiciones con el vector de capacidades recibirán tal recompensa. Para el modelo calibrado los ingresos son de cinco (5) unidades en cada posición.

Continúa

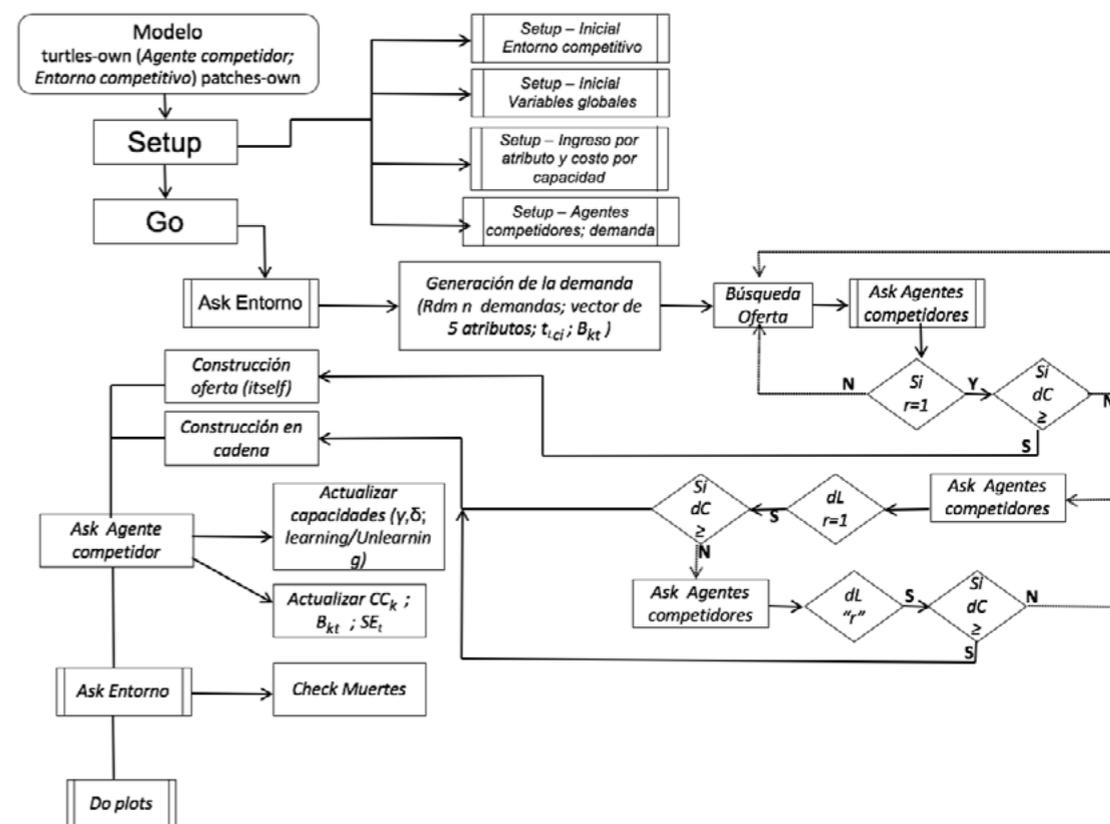
Variables	Descripción y valores iniciales
Costo por Capacidad (CCK)	Es el costo que representa sostener una capacidad en la posición k para un agente competente; dicho costo es directamente proporcional a la magnitud de la posición k del vector de capacidades. Para el modelo calibrado los costos son de una unidad (1) por posición.
Stock de excedentes inicial (SS)	Son los activos con los que un agente competidor cuenta en el tiempo de su creación o nacimiento. Todos los agentes que participen en fórmulas de éxito, tendrán la posibilidad de aumentar su stock de excedentes siempre y cuando los beneficios sean superiores a sus costos; dicho stock le permite a un agente sobrevivir en el tiempo siempre y cuando su stock sea positivo. Para el modelo el stock de excedentes es aleatorio entre 0 - 225 unidades.
Volatilidad máxima de las oportunidades de innovación (v)	Este valor también se adjudica de manera aleatoria y se selecciona un valor máximo de 5 años, lo anterior parece ser excesivo, sin embargo, las necesidades latentes pueden perdurar en el tiempo en algunos SRI hasta que aparezca quien pueda suplirle; la aleatoriedad conlleva a la emergencia que se le quiere dar al modelo.

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Verificación computacional del modelo

Según Sargent (2013), la verificación se define como la “comprobación de que un modelo dentro de su dominio de aplicación posea un rango satisfactorio de precisión consistente con la aplicación prevista del modelo” (Sargent, 2013, p. 12, traducción del autor); es decir, asegurar que el programa informático del modelo computarizado y su implementación sean correctos. Para lograrlo, primero se lleva a cabo una abstracción simple del modelo conceptual a través de un diagrama de flujo (ver Figura 3-7), que permite una mejor comprensión del funcionamiento de los procedimientos y mecanismos del modelo en su forma computacional (ver Figura 3-7); luego se aplica la técnica de validación de trazas que consiste en un seguimiento de los comportamientos de las entidades a través de cada submodelo y del modelo general, con el fin de determinar si los supuestos y reglas definidas sí se están cumpliendo.

La programación del modelo se realizó en la plataforma NetLogo versión 5.1.0, que consiste en la construcción de varios procedimientos que pueden ser observados en el Anexo B. Puede decirse que dichos procedimientos son equivalentes a los submodelos a los que se les debe de hacer seguimiento para poder verificar el modelo. Por consiguiente, para aplicar la técnica de verificación, primero se nombra y se revisa la lógica de cada procedimiento, y luego se comprueba si el comportamiento del modelo corresponde con el raciocinio del procedimiento.



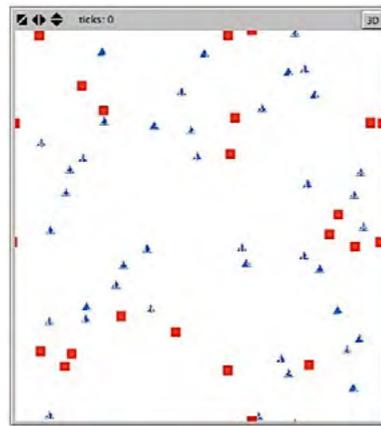
Fuente: Elaboración propia a partir del modelo conceptual.

Figura 3-7. Diagrama de flujo del modelo conceptual

#### 3.6.1. Creación de las oportunidades de innovación

El procedimiento consiste en la iniciación y aparición de las oportunidades de innovación con una ubicación aleatoria en el entorno competitivo, provistas de un vector de atributos de cinco posiciones con magnitud aleatoria de cero a nueve en cada posición, además provistas de volatilidad en el tiempo y ciclo de vida aleatorios. Se realizan varias pruebas para garantizar que el inicio de cada micromundo sea diferente y aleatorio en la ubicación de las oportunidades de innovación en el entorno.

Cuando se da inicio (setup) puede observarse cómo las oportunidades de innovación se ubican de forma aleatoria en el entorno competitivo, tal como se puede apreciar en la Figura 3-8; las oportunidades de innovación están representadas por los cuadrados rojos. De forma similar, al observar varias oportunidades de innovación (a-ce) en la Figura 3-9, se puede apreciar cómo están asignados sus atributos (atr) de forma aleatoria, así como su volatilidad (volatility), ciclo de vida (tvc) y ubicación (xcor y ycor). Siguiendo el proceso de trazas, puede encontrarse que el procedimiento cumple con su finalidad.

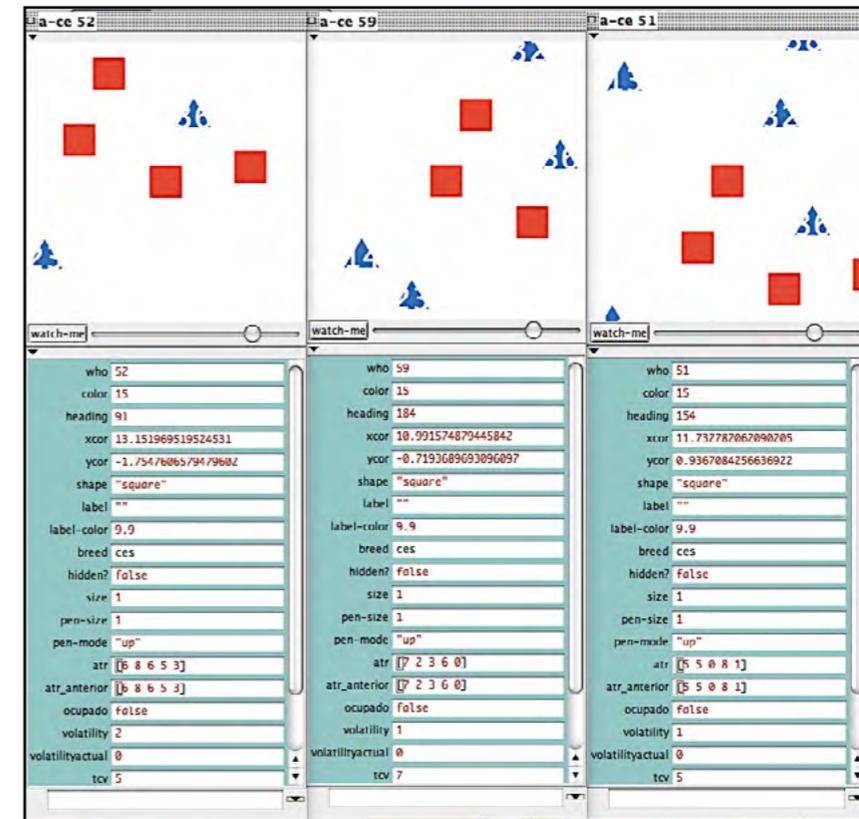


Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-8. Distribución aleatoria de las oportunidades de innovación en el entorno competitivo

### 3.6.2. Creación de agentes competidores

Un procedimiento similar al de las oportunidades de innovación se plantea para los agentes competidores. Se programa su aparición y su ubicación aleatoria en el entorno competitivo, provistos de un vector de capacidades de cinco posiciones de magnitud aleatoria entre cero y nueve para cada posición, además cuentan con un stock de excedentes inicial y un costo de mantenimiento de sus capacidades. En la Figura 3-10 (ver página 106), se puede observar cómo los agentes competidores están ubicados de forma aleatoria en el entorno competitivo; los agentes son representados por triángulos de color azul provistos aleatoriamente de sus capacidades (cap), convirtiendo el sistema en un sistema heterogéneo. De la misma manera, se encuentran dotados de un costo de mantenimiento (cos-



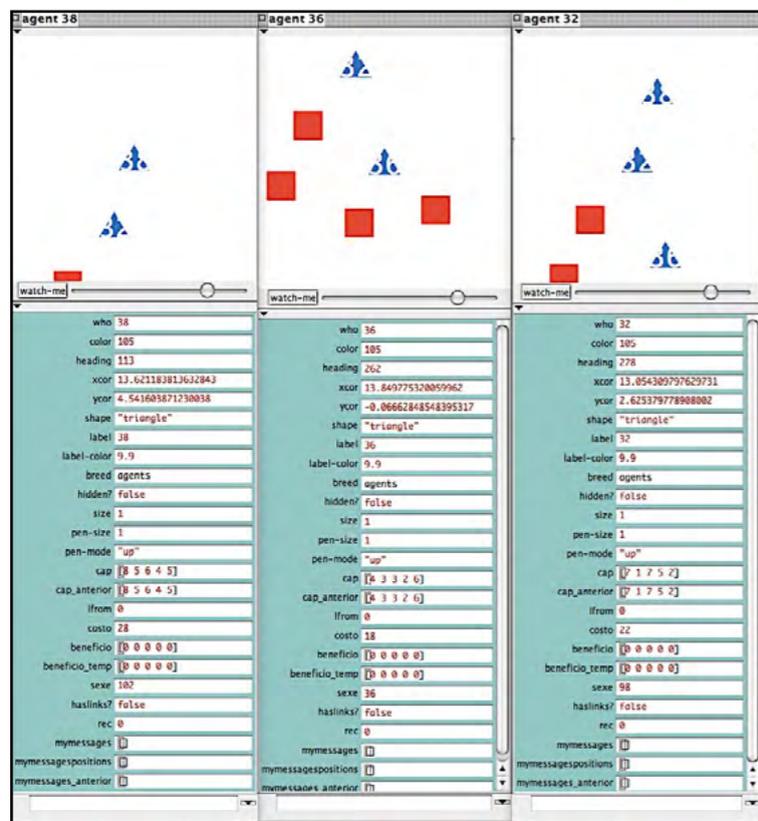
Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-9. Asignación aleatoria de magnitudes del vector de atributos, volatilidad y ciclo de vida de tres oportunidades de innovación

to) y su stock de excedentes (sexe). El procedimiento cumple con su finalidad y se verifica por trazabilidad que el procedimiento fue bien programado y planeado en su código.

### 3.6.3. Creación de vínculos

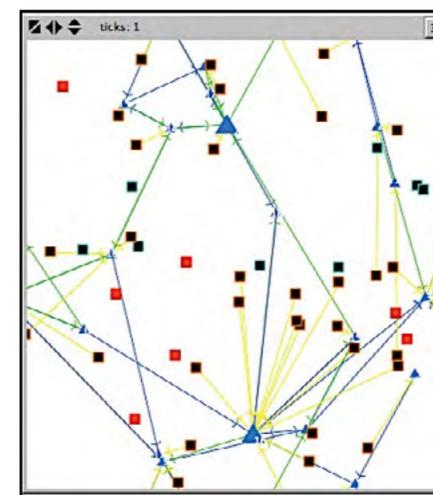
El procedimiento fue creado con el propósito de hacer cumplir las reglas de decisión del modelo como son la localización y complementariedad en las capacidades, además de ordenar la búsqueda de agentes complementarios de las capacidades más explotadoras hacia las exploradoras (derecha a izquierda).



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-10. Asignación aleatoria de magnitudes del vector de capacidades y stock de excedentes de tres agentes competidores.

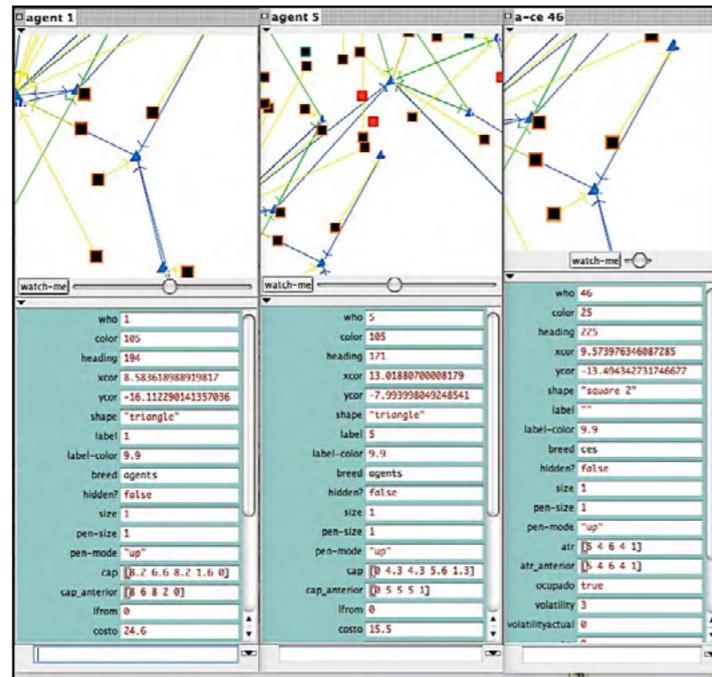
La conformación de vínculos se puede observar en la Figura 3-11, donde se aprecia la variedad de vínculos que se generan al seguir las reglas de localización, complementariedad en las capacidades. Los vínculos se denotan así: el color amarillo denota un vínculo entre una oportunidad de innovación y un agente competidor, el color azul denota un vínculo entre un agente competidor y otro agente competidor con un solo fin: complementar las capacidades y dar respuesta exitosa al entorno competitivo. Por último, el vínculo de color verde denota que se ha cumplido con una fórmula exitosa por parte del agente o el conjunto de agentes.



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-11. Vínculos entre oportunidades de innovación y agentes competidores

De forma complementaria, se puede observar en la Figura 3-12 cómo se relacionan varios agentes competidores para aprovechar una oportunidad de innovación específica al utilizar las capacidades de innovación. El vector de la oportunidad de innovación (a-ce 46) es [5 4 6 4 1], el primer agente que hace contacto con él es el agente (agent 5) con su vector de capacidades [0 5 5 5 1]; el vector del agente competidor (agent 5) está dotado de capacidades de mercadeo básicas, pero, a pesar de la poca exigencia en el atributo de la oportunidad de innovación en la posición 5, el agente es capaz de suplir dicho atributo con la magnitud de su capacidad de producción igual a 1. De manera similar, y siguiendo las reglas de decisión (desde la posición más explotadora hacia la posición más exploradora), la capacidad de producción es suplida por el (agent 5) con su magnitud igual a 5, aunque la posición número tres del vector de atributos es superior a la magnitud del agente (agent 5). Por lo tanto, dicho agente inicia la búsqueda por cercanía y complementariedad en las capacidades. Es así como el (agent 5) encuentra al (agent 1). Este agente competidor está dotado de un vector de capacidades [8 6 8 2 0] y es complementario de las capacidades del (agent 5) vinculándose en la construcción de la oferta innovadora a través de la construcción de una fórmula de éxito aportando en la posición tres, capacidades de intermediación; en la posición dos, capacidades de desarrollo y en la uno capacidades de I+D, con las magnitudes correspondientes [8 6 8].



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

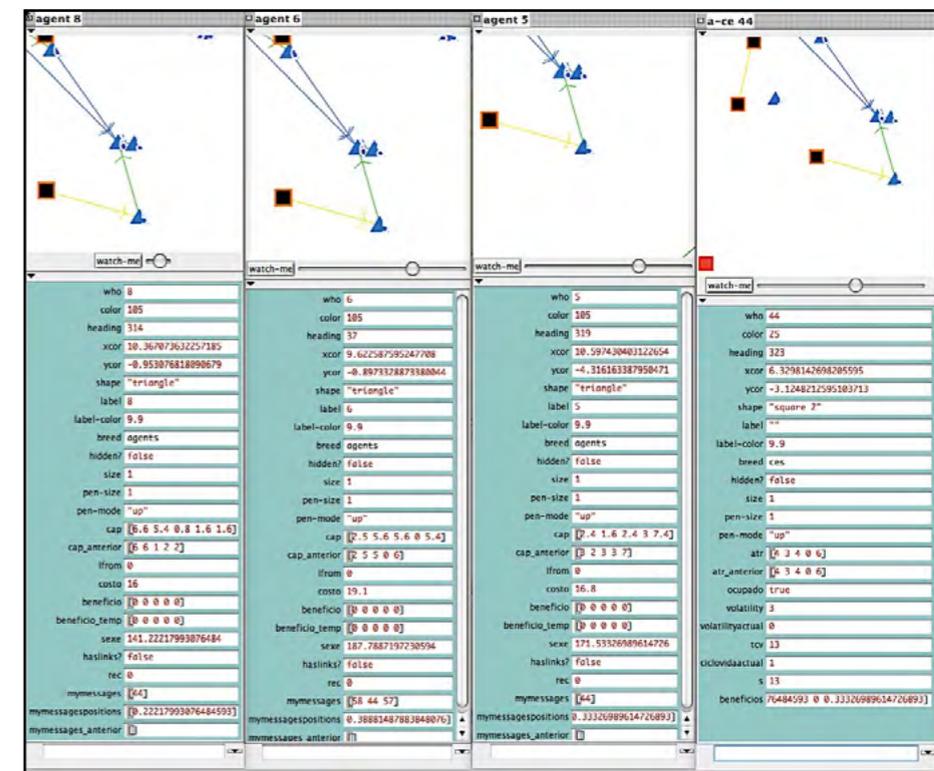
Figura 3-12. Relacionamiento entre agentes competidores para aprovechar una oportunidad de innovación usando sus capacidades de innovación

### 3.6.4. Aprendizaje y desaprendizaje

El procedimiento fue creado para que los agentes aprendan a través de un proceso dinámico y de interacción por el cual adquieren o pierden sus capacidades. Por lo tanto, aquellos agentes que con el tiempo aprendan, acumularán las capacidades de innovación. En la medida en que los agentes aprendan este procedimiento podrán llevar a cabo de manera progresiva nuevas actividades de interacción que les permita acumular y adquirir nuevas capacidades. El procedimiento del aprendizaje, ayuda a representar las dinámicas en que los agentes acumulan sus capacidades y, por lo tanto, competencias en el sistema. La función principal del procedimiento es hacer que los agentes aprendan cuando utilizan y acumulan sus capacidades de innovación, y que desaprendan al desacumular sus capacidades de innovación por el no uso o *learning by not doing*.

El aprendizaje presenta un comportamiento que permite a los agentes competidores coevolucionar al aprovechar las oportunidades de innovación por sí mismos o relacionándose con otros agentes competidores. Adicionalmente, se requiere un factor de aprendizaje o desaprendizaje que es asignado al sistema, con el fin de comprender cuáles son las dinámicas de aprendizaje. Así mismo, el factor de aprendizaje ayuda a entender y analizar cuáles son aquellos patrones de acumulación o desacumulación de las capacidades con relación al nivel de la capacidad del agente en el momento de ser usada o no; es decir, el factor de aprendizaje propicia una mayor o menor velocidad con la que se acumulan las capacidades del sistema por parte de los agentes que interactúan.

En la Figura 3-13, se expone el comportamiento del aprendizaje y el desaprendizaje con relación al uso o no de las capacidades así: el agente 5 usa su capacidad de mercadeo



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-13. Aprendizaje interactivo a partir del uso de las capacidades de innovación valiéndose de una oportunidad de innovación

(posición 5), pasando de una magnitud de 7 (cap. anterior) a una de 7,4 (cap.) evidenciando la acumulación de las capacidades en dicha posición. También se puede observar que el atributo de la oportunidad de innovación en la posición 4 es cero (0), por lo tanto el agente 5 no aumenta la capacidad de dicha posición, dejando su capacidad de 3 (cap. anterior) en el mismo valor 3 (cap.). Esta última verificación demuestra que cuando el vector de atributos de una oportunidad de innovación no solicita ningún atributo específico ( $atr = 0$ ), el agente debe seguir de derecha a izquierda con sus reglas de decisión, pasando por alto dicho atributo y continuando con su comparación del vector. El agente 5 no presenta una capacidad de vinculación (cap. anterior = 3) de magnitud mayor o igual a la demandada por la oportunidad de innovación en dicha posición ( $atr = 4$ ), por lo tanto busca por cercanía otro agente que supla esta posición, encontrando al agente 6.

El agente 6 se suma a la fórmula de éxito aportando la capacidad de vinculación (posición 3) que es utilizada, pasa de una magnitud de 5 (cap. anterior) a 5,6 (cap.) la capacidad de desarrollo, pasa de una magnitud de 5 (cap. anterior) a 5,6 (cap.) acumulando sus capacidades en dicha posición. Además, se puede apreciar cómo el agente 8 es el que se suma como último agente en la construcción de la oferta que suple la oportunidad de innovación, pasa de una magnitud 6 (cap. anterior) a 6,6 (cap.) en la posición 1 acumulando sus capacidades de investigación. La verificación

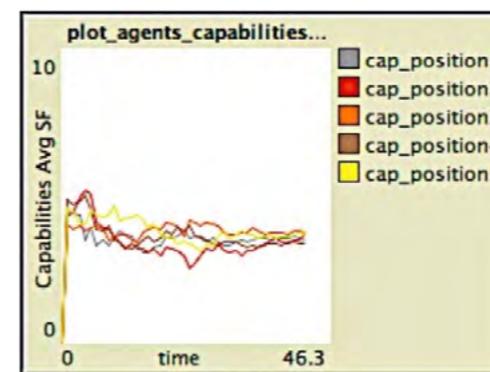
de la oferta o construcción de una fórmula de éxito, permite a través de las reglas de decisión planteadas, conocer qué agentes aprenden y des-aprenden por el uso o no de las capacidades de innovación.

También se puede ver el efecto del factor de aprendizaje y la magnitud de las capacidades. Por ejemplo, en el caso del agente 8 que aporta su capacidad de investigación (posición 1) pasando de 6 (cap. anterior) a 6,6 (cap.), aumentando en un 0,6 su magnitud, mientras que como se vio en el caso del agente 5, su capacidad de mercadeo aumentó en 0,4, demostrando un comportamiento de curva en S del aprendizaje. Para finalizar, mientras más cerca se esté del 0 o 9 en la magnitud de la capacidad, la velocidad del cambio será menor. Sin embargo, si se está más alejado de los valores extremos 0 y 9, el cambio de la velocidad será mayor, verificando entonces el comportamiento de las dinámicas del aprendizaje pretendido para los agentes competidores.

### 3.6.5. Coevolución

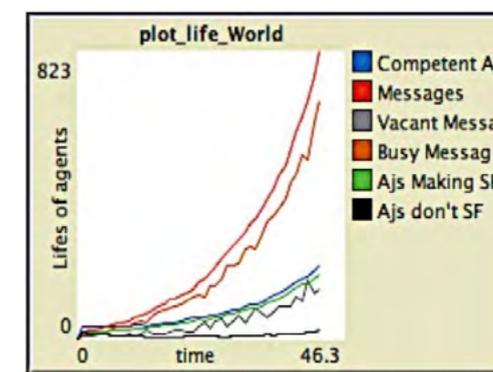
Gracias a las dinámicas de aprendizaje y desaprendizaje producto de un factor que adopta el SRI, los agentes competidores coevolucionan aprovechando las oportunidades de innovación a través de la interacción con otros agentes. La coevolución se debe observar en el comportamiento de las capacidades (ver Figura 3-14) promedio de los agentes competidores periodo a periodo en el sistema. El comportamiento

no es constante por varias razones: el factor de aprendizaje que adopta el sistema, la muerte y el nacimiento de nuevos agentes visualizados en las curvas azul para agentes competidores y negro de agentes que no realizan fórmulas de éxito (ver Figura 3-15). Se puede apreciar entonces cómo varía el promedio de las capacidades de los agentes del sistema, demostrando la coevolución de los agentes competidores verificándose a través del aprendizaje interactivo en modelo.



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-14. Capacidades promedio de los agentes competidores del sistema



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-15. Número de agentes competidores del sistema

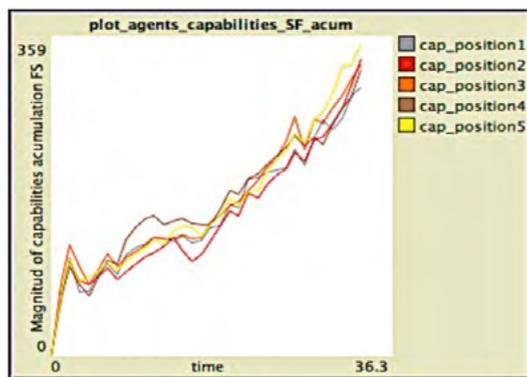
Una variación en la magnitud de las capacidades de cualquier agente debe ser observada en el modelo cuando existe acumulación de las capacidades. Significa que los agentes responden satisfactoriamente a los atributos de las oportunidades de innovación demandadas por el sistema, lo anterior indica que los agentes y el sistema aprende interactivamente (ver Figura 3-16, página siguiente). En caso contrario, los agentes y el sistema desaprenden.

La variación en las magnitudes de las cinco posiciones de las capacidades de innovación (curvas: color gris, 2 color rojo, 3 color naranja, cuatro café y cinco amarillo) ayudan a comprender cuándo los agentes competidores están acumulando y desacumulando sus capacidades. Por lo tanto, el modelo debe permitir observar cómo varían las capacidades en cada posición de los agentes, para así poder comprender qué patrones adoptan los agentes.

Si las capacidades varían positivamente, los agentes que interactúan estarán aprendiendo producto del uso y la acumulación de sus capacidades. Dichos agentes pueden estar aprendiendo en una o varias posiciones. Ahora bien, si aprenden en más de dos posiciones, los agentes se estarán especializando integralmente en su vector o, en caso contrario, se debe observar que muchos agentes acumulen sus capacidades en no más de dos posiciones. Es decir, aquellos agentes que acumulen las capacidades en no más de dos posiciones se especializarán funcionalmente debido a que sus capacidades llegan rápidamente a ser avanzadas, lo que tiene como consecuencia la desacu- mulación de las capacidades en las otras posiciones del vector. Tal variación debe ser observada en el sistema (ver Figura 3-17).

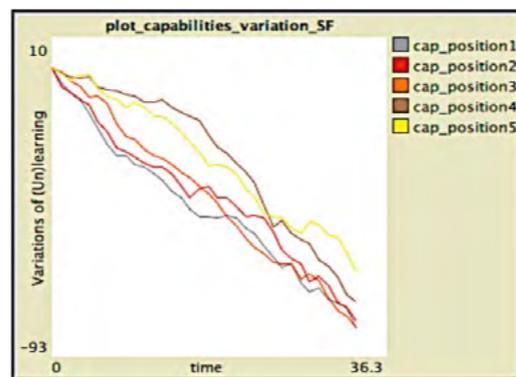
### 3.6.6. Desempeño del sistema

Como se mencionó anteriormente, el modelo debe tener la capacidad de presentar cuáles agentes competidores ganan y cuáles pierden. Si se pretende simular el aprendizaje en un SRI, resulta clave conocer el comportamiento innovador del sistema y su desempeño económico. Además, es importante que las simulaciones del sistema puedan demostrar estos comportamientos, no solo el desempeño innovador sino también el desempeño económico del sistema.



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

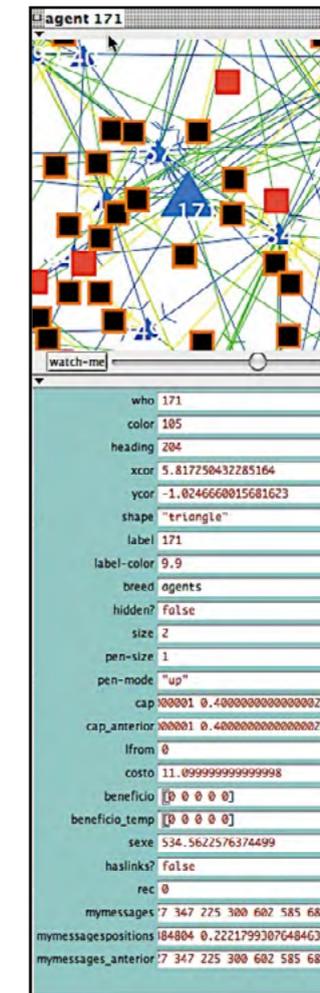
Figura 3-16. Acumulación de las capacidades



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-17. Variación de las capacidades

En la Figura 3-18 y de forma individual, cada agente competidor presenta en cada periodo de tiempo o *tick* un stock de excedentes (*sex*), así como el costo de mantener sus capacidades (*costo*) y beneficios que obtienen de cada oportunidad de innovación que se está aprovechando (*mymessagespositions*). De la misma manera, como se muestra en la Figura 3-19 (ver página siguiente), se puede observar el número de agentes que sobreviven en el sistema después de 33 periodos (curva azul), el número de oportunidades de innovación existentes en el entorno competitivo (curva roja) y el número de oportunidades de inno-



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

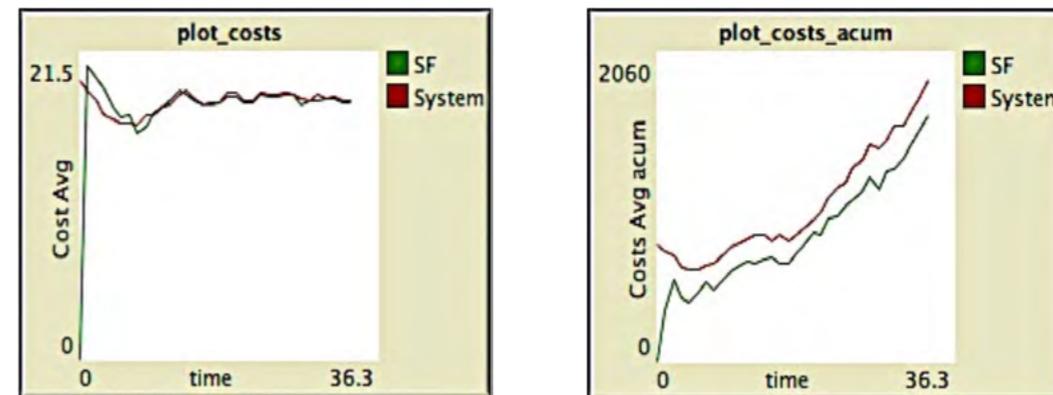
Figura 3-18. Desempeño individual del agente 80 pasados 5 ticks

vacación que son aprovechadas por los agentes (curva naranja), donde puede observarse el desempeño innovador del sistema.

La Figura 3-20, representa el desempeño económico del sistema, mostrando el stock de excedentes acumulados en el sistema de innovación después de 33 periodos (curva roja); si se comparan las dos gráficas, se puede observar cómo los agentes competidores del SRI aprovechan las oportunidades de innovación obteniendo un crecimiento económico en el tiempo. De esta forma se verifica el comportamiento del desempeño del sistema.

### 3.6.7. Costos de las capacidades

Los costos de mantener las capacidades, además de afectar el comportamiento individual de los agentes competidores y del sistema, deben ser analizados con el fin de comprender posibles comportamientos emergentes en el SRI. En la Figura 3-21, se pueden observar los costos promedio de los agentes que realizan fórmulas de éxito y del agregado del SRI en cada periodo, así como los costos acumulados del sistema (curva roja) y los agentes competidores (curva verde). De esta manera, queda verificado el comportamiento esperado de los costos de mantener las capacidades, a mayor acumulación de las capacidades, mayores serán los costos para su mantenimiento.



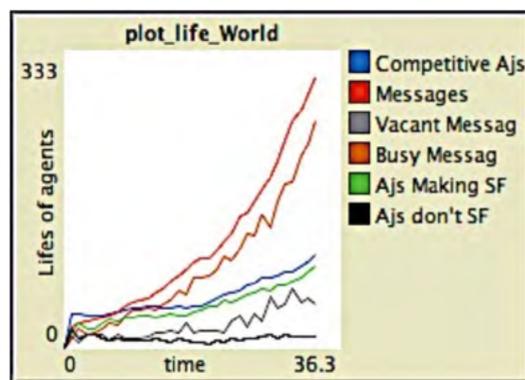
Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-21. Costos promedio y costos acumulados de las capacidades

### 3.6.8. Síntesis

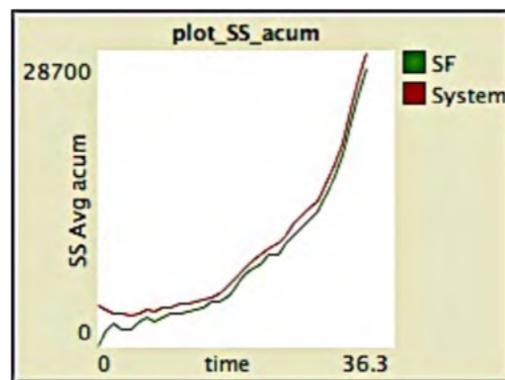
El enfoque metodológico de la MBA, y considerando los SRI como SCA, el modelo conceptual construido demuestra su potencial para representar y explicar cómo los agentes competidores, mediante sus propias capacidades de innovación o interactuando con otros agentes competidores que los complementan en sus capacidades, aprovechan las oportunidades de innovación del entorno competitivo. Además, el modelo está en capacidad de mostrar cómo dichas interacciones entre agentes que exploran, explotan e intermedian, pueden representar las diferentes combinaciones que pueden tomar dichos agentes y cómo pueden ser afectados por el factor de aprendizaje que adopta el sistema en la acumulación de las capacidades de innovación.

Se construyeron los elementos necesarios para realizar la programación del modelo basado en agentes que permitiera representar el aprendizaje por medio de la acumulación de las capacidades de innovación y a través de la interacción entre agentes de un SRI. La integración de estos elementos en un modelo conceptual posibilita hacer análisis comparativos, dinámicos y longitudinales, presentando la posibilidad de analizar cómo se produce el aprendizaje en los SRI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes y cómo representar los patrones de aprendizaje entre los agentes del sistema, de forma tal que se permita diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un desempeño del sistema. Para cumplir con lo anterior, el modelo de simulación tiene la capacidad de recrear diferentes escenarios que permiten analizar el aprendizaje en



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-19. Número de agentes competidores, oportunidades de innovación aprovechadas y no aprovechadas, agentes que hacen y no hacen fórmulas de éxito.



Fuente: Interfaz programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 3-20. Desempeño económico del SRI

un SRI como un punto interesante dentro de la evaluación de la política que genere un desempeño diferenciado del SRI.

A continuación, en el Capítulo 4, se presenta la validación del modelo y el análisis de los comportamientos de los diferentes

escenarios que fueron diseñados para explicar el aprendizaje en un SRI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes, representando aquellos patrones de aprendizaje que permiten diferenciar las políticas y estrategias más adecuadas para un mejor desempeño del sistema.

## 4. Validación conceptual y operacional del modelo

PhD. Diana Patricia Giraldo Ramírez

### 4.1. Introducción

El elemento primordial para validar cualquier modelo es tener claro el propósito por el cual se construye. En este caso, la razón de ser del modelo es ayudar en la comprensión del fenómeno del aprendizaje en los SRI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes; del mismo modo, busca representar los patrones de aprendizaje entre los agentes del sistema, de forma tal que permita diferenciar políticas y estrategias adecuadas para un mejor desempeño del sistema.

Cuando se tiene claridad en el propósito del modelo se procede a su validación. Existen varios paradigmas para validar un modelo. Para tal fin, debe realizarse un proceso que, en su versión simplificada, requiere como mínimo dos técnicas de validación (Sargent, 2013): la validación del modelo conceptual y la validación en

su forma operacional; adicionalmente, en este capítulo se describen varios enfoques y técnicas de validación. A continuación se procede a realizar las validaciones del modelo conceptual y del modelo operacional, no sin antes realizar un breve recorrido por los diferentes paradigmas de verificación y validación de un modelo.

### 4.2. Paradigmas y técnicas de verificación y validación

En la actualidad, la literatura presenta dos paradigmas para verificar y validar el desarrollo de un modelo: la perspectiva simple y la perspectiva compleja. Los trabajos realizados por Banks, Gerstein y Searles (1988; 2010) realizan ambas aproximaciones, concluyendo que la perspectiva simple es la que ilumina más claramente la verificación y validación de un modelo (ver Figura 4-1). Según Sargent (2013), la entidad problema es el sistema real o propuesto, que puede ser una idea, situación, política o fenómeno a modelar. Para nuestro caso, el fenómeno a modelar son las dinámicas del aprendizaje a través de la interacción entre agentes en un SRI. Sargent define un modelo conceptual como la representación gráfica matemática/lógica/verbal de la entidad problema desarrollado para un estudio en particular; el modelo computacional es el modelo conceptual aplicado en un ordenador y su plataforma.

En ese orden de ideas, la validación de un modelo es la determinación de que las

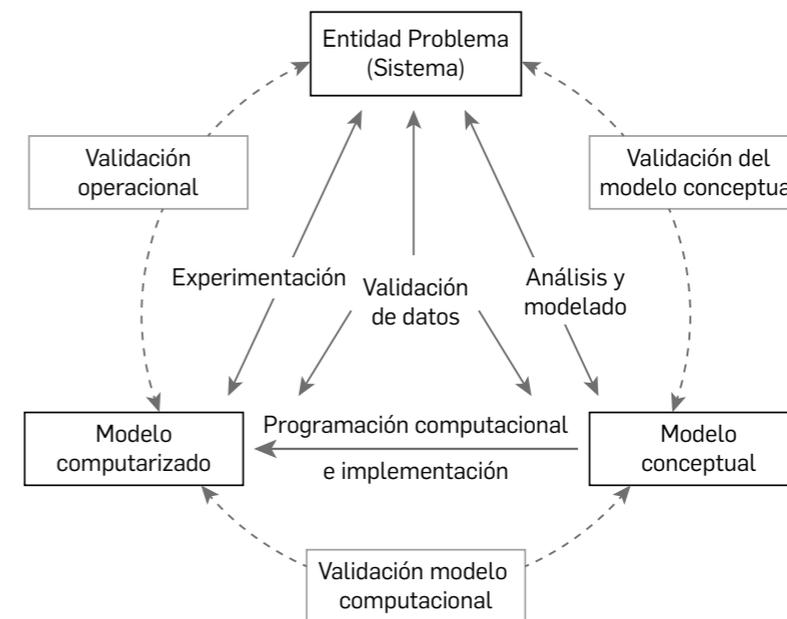
teorías y las suposiciones subyacentes al modelo conceptual y la representación de la entidad problema son correctas y razonables para la finalidad prevista que se tiene del modelo (Sargent, 2013). La verificación de un modelo computarizado nos permite asegurar que la programación de la computadora y la aplicación del modelo conceptual fueron correctas.

Según Sargent (2013), la validación operacional es la determinación y precisión del comportamiento de salida del modelo con relación al propósito y dominio de aplicación previsto. Por otra parte, la validez de los datos define y asegura datos adecuados y correctos, los cuales son necesarios para la construcción y evaluación del modelo, las pruebas y la realización de los experimentos que resuelven el problema.

Una variedad de técnicas de validación fueron exploradas y analizadas para el diseño y desarrollo del modelo de simulación. Sin embargo, es importante resaltar que “[...] no existe ningún algoritmo para determinar cuáles son las técnicas o procedimientos a utilizar en la validación, dado que todo proyecto de simulación presenta un nuevo y único desafío para el equipo de desarrollo del modelo” (Sargent,1988; 2013).

#### 4.2.1. Enfoques y técnicas de validación de los modelos

La literatura describe un sinnúmero de enfoques diferentes y técnicas de validación para la verificación y validación de mode-



Fuente: Adaptado de Sargent (2013).

Figura 4-1. Proceso de verificación y validación en el desarrollo de un modelo

los. Dichas técnicas son utilizadas subjetiva y objetivamente o en su combinación, para la verificación y validación de los submodelos y el modelo general. A continuación, en la Tabla 4-1, se presentan las técnicas más relevantes según Sargent (1984; 2010; 2013), Windrum, Fagiolo y Moneta (2007).

Tabla 4-1. Enfoques y técnicas de validación en los ABM

Técnica	Descripción	Posibilidad de uso
<b>Animación</b>	El comportamiento operativo del modelo se muestra gráficamente representando su movimiento a través del tiempo.	La interfaz permite observar la dinámica y relaciones de los agentes, además se puede realizar un diagrama de flujo que permita observar decisiones de agentes del sistema con relación a las reglas de comportamiento estipuladas.

Continúa

Técnica	Descripción	Posibilidad de uso
<b>Comparación con otros modelos</b>	Comparación de los resultados del modelo en el proceso de validación con otros resultados de modelos validados.	Comparar las salidas del modelo (comportamientos) con otros modelos de simulación como por ejemplo el Modelo SKIN, SSRIS entre otros.
<b>Pruebas degeneradas</b>	El comportamiento del modelo se prueba mediante la selección adecuada de los valores de entrada y los parámetros internos.	Se pone a prueba la lógica de los parámetros utilizados en el modelo así como el cambio de los valores que afecten de una manera plausible el comportamiento del modelo.
<b>Validez de eventos</b>	Los "eventos" de las ocurrencias del modelo de simulación se comparan con las del sistema real para determinar si son similares.	Se realizan pruebas y diferentes eventos observando la posibilidad de que los valores que se utilizan en el modelo suceden en la realidad
<b>Pruebas en condiciones extremas</b>	La estructura y los resultados del modelo deben ser plausibles para cualquier combinación extrema y poco probable de los niveles de los factores del sistema.	Se juega con los valores de todos los factores, utilizando datos extremos y se verifica si el comportamiento es factible o no en el sistema real.
<b>Validez de cara</b>	Consultar a expertos que conocen del sistema si el modelo y/o su comportamiento son razonables.	Solicitar la opinión de expertos acerca del comportamiento del modelo conceptual, del sistema real y de las entradas y salidas del modelo.
<b>Validación histórica de datos</b>	Si existen datos históricos, parte de estos datos son utilizados para construir el modelo y los datos restantes se utilizan para determinar si el modelo se comporta como el sistema.	Para el modelo fue complicado obtener el volumen de datos históricos necesarios para correr el modelo; se descarta dicha técnica.
<b>Métodos Históricos</b>	Se clasifican así:  Racionalismo: asume que todo el mundo sabe si los supuestos subyacentes de un modelo son ciertos. Las deducciones lógicas se utilizan a partir de estas premisas para desarrollar el modelo correcto (válido). Empirismo: requiere que cada supuesto y resultado sea validado empíricamente. La economía positiva solo requiere que el modelo sea capaz de predecir el futuro y no se refiere a los supuestos de un modelo o estructura (relaciones causales o mecanismos).	El más apropiado de los tres métodos es el racionalismo; los supuestos de cercanía geográfica, complementariedad en el conocimiento y la acumulación de las capacidades, son considerados apropiados desde la teoría así como desde los estudios empíricos realizados en el oriente asiático. (Hobday M. , 1997).  <i>Esta técnica fue la escogida para la validación del modelo propuesto junto con los HFM los cuales son explicados más adelante.</i>
<b>Validez interna</b>	Suficientes réplicas o corridas de un modelo estocástico se realizan para determinar la cantidad de variabilidad interna y estocástica del modelo.	El modelo presentó buena consistencia en los resultados utilizando los mismos valores a pesar de los valores aleatorios que el modelo adopta en cada experimento.

Continúa

Técnica	Descripción	Posibilidad de uso
<b>Validación multietapas</b>	Se combinan los tres métodos históricos en un proceso de varias etapas de validación. Este método de validación consiste en: 1) Se desarrollan los supuestos del modelo a partir de la teoría y de observaciones y conocimientos generales, 2) se realiza una validación de los supuestos del modelo en donde sea posible de probar empíricamente, 3) se compara (probar) las relaciones insumo-producto del modelo con el sistema real.	Desde esta perspectiva fue difícil tener los datos para las etapas 2 y 3.
<b>Gráficos operacionales</b>	Los valores de las distintas medidas en el rendimiento; es decir, los comportamientos dinámicos y sus indicadores de resultados se muestran visualmente como el modelo de simulación se ejecute a través del tiempo, el objetivo es asegurar que son correctos dichos comportamientos.	La plataforma Netlogo lo realiza a través de los plots incorporados en la interfaz del modelo.
<b>La variabilidad de los parámetros - Análisis de sensibilidad</b>	Esta técnica consiste en cambiar los valores de la entrada y los parámetros internos de un modelo para determinar el efecto de dichos cambios sobre el comportamiento o la salida del modelo. Las mismas relaciones deben ocurrir en el modelo como en el sistema real. Puede ser usado cualitativa y cuantitativamente.	El modelo y su plataforma Netlogo permitió realizar este análisis de sensibilidad, además es vital para el análisis; sin embargo, obtener las relaciones en el sistema real es difícil.
<b>Validación predictiva</b>	La técnica se utiliza para predecir el comportamiento del sistema, seguido se hacen comparaciones entre el comportamiento del sistema y el pronóstico del modelo para determinar si son iguales.	No se utilizó y fue descartada, además el objetivo del modelo propuesto se encaminó a comprender el fenómeno del aprendizaje en los SRI a través de la acumulación y des-acumulación de las capacidades, el modelo no busca realizar pronósticos.
<b>Trazas</b>	El comportamiento de los diferentes tipos de entidades específicas en el modelo se trazan a través del modelo para determinar si la lógica del modelo es correcto y si se obtiene la precisión necesaria.	El modelo permite seguir el comportamiento de cada uno de los agentes; sin embargo, tener la precisión necesaria del sistema real para hacer la comparación es muy difícil, pero se pueden obtener comportamientos similares.
<b>Las pruebas de Turing</b>	Las personas que conocen las operaciones del sistema que se está modelado son preguntadas si pueden discriminar entre las salidas del sistema real y el modelo.	Esto se puede realizar, enfocando las preguntas al comportamiento del SRI.

Continúa

Técnica	Descripción	Posibilidad de uso
<b>Calibración indirecta</b> (Windrum, Fagiolo, & Moneta, 2007)	Se realiza la validación, y luego se calibra indirectamente el modelo, centrándose en los parámetros que sean consistentes con la salida de la validación.	Se puede utilizar la evidencia empírica para la restricción de los valores de los parámetros así como para elegir las condiciones iniciales.
<b>Werker-Brenner</b> (Windrum, Fagiolo, & Moneta, 2007)	Etapa 1. Se utiliza el conocimiento empírico existente para calibrar las condiciones iniciales y los rangos de los parámetros del modelo. Etapa 2. Se realiza la validación empírica de las salidas para cada una de las especificaciones del modelo derivada de la etapa 1. Etapa 3. Se utiliza el conjunto sobreviviente y se recurre a los testimonios de expertos. (Brenner & Werker, 2009)	Esta técnica ofrece un medio para reducir el grado de libertad del modelo y aboga por procedimientos de prueba para el análisis de sensibilidad sobre un gran número de simulaciones. Sin embargo, los datos empíricos de alta calidad son fundamentales para este enfoque.
<b>Histórica-amigable</b> (Windrum, Fagiolo, & Moneta, 2007) <b>más conocidos como History Friendly Models "HFM"</b>	Este enfoque utiliza los estudios de casos históricos específicos de una industria para los parámetros del modelo, interacciones y reglas de decisión de los agentes. En este enfoque un "buen" modelo es el que puede generar múltiples hechos estilizados observados en una industria. Se orienta específicamente al comportamiento, reglas de decisión y las interacciones de los agentes, y el entorno en el que operan. La técnica se basa en relatos. Lo ideal es tener varios relatos o casos. (Malerba, Nelson, Orsenigo, & Winter, 2001; Malerba, Nelson, Orsenigo, & Winter, 2008)	<i>Se analizaron comportamientos de los estudios empíricos de cómo las empresas recién llegadas (latecomer firms) de los cuatro dragones del oriente asiático (Korea del Sur, Taiwán, Hong Kong y Singapur) vincularon su aprendizaje tecnológico a los mercados de exportación aprendiendo a innovar en la electrónica (microprocesadores, circuitos integrados de aplicación específica y memorias de acceso aleatorio estática). El modelo se puede validar con una serie de datos disponibles, a partir de estos estudios empíricos detallados y la evidencia anecdótica de historias escritas acerca de dicha industria generando hechos y comportamientos estilizados. El análisis de sensibilidad es el punto débil de esta perspectiva. Aunque el modelo fue construido para permitir hacer preguntas "¿Qué pasaría si?" las cuales son fundamentales para hacer análisis de sensibilidad.</i>

Fuente: Elaboración propia a partir de (Windrum, Fagiolo, & Moneta, 2007; Sargent, 2013)

La perspectiva simple nos señala dos técnicas que son importantes para validar el modelo conceptual y operacional, ellas son: 1) *El método histórico del racionalismo*, 2) *La aproximación histórica amigable*. A continuación se presenta la validación conceptual a partir del *método histórico del racionalismo*.

### 4.3. Validación conceptual

La validación del modelo conceptual utilizó *el método histórico del racionalismo*, que busca comprobar que los supuestos subyacentes de un modelo son ciertos; esto se hace a partir de premisas que se desprenden de deducciones lógicas, basadas en la teoría, para desarrollar el modelo válido.

La decisión de utilizar estas dos técnicas se sustenta en el supuesto de cercanía geográfica (Lundvall & Johnson, 1994; Asheim & Gertler, 2004) como un asunto clave de la proximidad para la producción, transmisión y compartición del conocimiento (Malberg y Maskell, 1997; Lundvall, 1992), en el de complementariedad en las capacidades (OECD, 2000; Asheim & Cooke, 1999; Schaaper, 2009; Lundvall B.-A., 1992; 1988) que son necesarias para suplir las oportunidades de innovación (Sakakibara, 1997; Hagedoorn, Link, & Vonortas, 2000; Belderbos, Carree, Diederen, Lokshin, & Veugelers, 2004) y, por último, el supuesto de la acumulación de las capacidades (Katz, 1986; Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday, 1997; Erns et al., 1998; Dutrénit, 2000; Lundvall, 2007; Lundvall & Vinding, 2007; Lund, 2004; Helfat et al., 2007) que permite que florezca el aprendizaje interactivo (Lundvall, 2007). Los supuestos anteriores tienen sustento en el trabajo de Teece (1988), para quien el aprendizaje se manifiesta en las cercanías de las actividades previas de las firmas, supuestos que fueron considerados como

los más apropiados para la validación del modelo conceptual.

#### 4.3.1. Supuestos

- Oportunidades de innovación**  
*Método histórico del racionalismo:* este modelo se encuentra soportado en el enfoque del jalonamiento del mercado (*market-pull*) descrito por Rothwell (1994), enfoque presentado como de segunda generación, así mismo, es importante también la propuesta "*Miopia del Marketing*" planteada por Levitt (1960).
- Vector de atributos de las oportunidades de innovación**  
*Método histórico del racionalismo:* este modelo se soporta en la premisa según la cual un proceso de innovación incluye diferentes actividades, que van desde la concepción de la idea, la *I+D*, pasando por la transferencia y finalizando en la producción y comercialización de los bienes y servicios (OECD, 2005). Dichas actividades requieren recursos, capacidades y competencias por parte de los agentes competidores para suplirlos, justificándose la relación existente entre los recursos, las capacidades, las competencias nucleares y el aprendizaje.

Es así como los agentes de un *SRI* requieren de capacidades que permitan realizar las funciones de generación, difusión y uso del conocimiento y la

tecnología. Dichas capacidades están distribuidas desigualmente (Malberg & Maskell, 1997; 1999; Braczyk, Cooke, & Heidenreich, 2004) entre los diferentes agentes que conforman el sistema, tal como se sustentó en el capítulo dos. Del mismo modo se tiene en cuenta, que los agentes presentan la posibilidad de estar dotados de capacidades nulas de magnitud =0 básicas de magnitudes entre 1 y 3, medias de magnitudes entre 4 y 6) y avanzadas de magnitudes entre 7 y 9. La literatura presenta una fuerte evidencia de las diferentes etapas de acumulación de capacidades por el aprendizaje (Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday, 1997; Ernst et al., 1998; Lundvall, 2007; Lundvall & Vinding, 2007; Lund, 2004; Helfat et al., 2007).

- **Volatilidad de las oportunidades de innovación**

*Método histórico del racionalismo:* el tiempo que puede tardar una firma para llegar al mercado conocido como *time to market*, así como la velocidad con que se innova o *innovation speed*, son fundamentales en este supuesto. El tiempo para llegar al mercado se conoce como el tiempo que transcurre desde que un producto es concebido hasta que está disponible para la venta. Ahora bien, la velocidad con que se innova puede ser considerada una capacidad de la firma, la cual, cuando es combinada con los procesos centrales,

genera una ventaja competitiva (Kessler & Chakrabarti, 1996).

Estos fundamentos teóricos están relacionados con el tiempo, recurso considerado como escaso (Markman, Gianiodis, Phan, & Balkin, 2005). En este sentido, se quiere conceder una *volatilidad* a las oportunidades de innovación del modelo, pero si no son aprovechadas a tiempo por falta de capacidades de los agentes, dichas oportunidades desaparecerán del entorno competitivo. Esto significa que las oportunidades se trasladarán a otro sistema que pueda aprovecharlas en el menor tiempo posible.

- **Ciclo de vida de las oportunidades de innovación**

*Método histórico del racionalismo:* este modelo se apoya en la teoría del ciclo de vida de las innovaciones, donde el comportamiento gaussiano de los beneficios es característico de las curvas de difusión de las innovaciones (Rogers, 2003).

- **Aprovechamiento de las oportunidades de innovación por los agentes competidores**

*Método histórico del racionalismo:* en este modelo, el comportamiento de tratar de suplir primero los atributos explotadores (mercadeo y producción), seguido de los de intermediación y por último los exploradores (desarrollo e

investigación), se puede explicar por la orientación a satisfacer necesidades de corto plazo por parte de los agentes explotadores y de largo plazo de los agentes exploradores. Este comportamiento es expuesto en el ciclo de exploración-explotación de Gilsing y Nooteboom (2006).

- **Búsqueda de agentes por parte de una oportunidad de innovación.**

Esta búsqueda se inicia por localización geográfica y luego por comparación de los atributos de la oportunidad de innovación con las capacidades de los agentes competidores, reglas expuestas en el apartado 3.3 del capítulo 3.

- **Beneficios para los agentes competidores**

*Método histórico del racionalismo:* este supuesto considera que los agentes están en un ambiente competitivo, premiando solo a aquellos que son capaces de lograr y obtener una ventaja competitiva (Prahalad & Hamel, 1990). Este proceso es equivalente a la asignación de créditos que emplea Holland (2004, p. 58) cuando plantea que "utilizar el éxito (o el fracaso) de los agentes para asignar créditos (premios) o penalizaciones a partes del sistema de desempeño". El modelo cumple con la recomendación de Holland (2004) de asignación del crédito "cuando el medio ambiente produce una remuneración (recompensa, premio) por una acción" (p. 69).

- **Stock de excedentes de los agentes competidores**

*Método histórico del racionalismo:* según Holland, (2004, p. 24) "la experiencia guía los cambios en la estructura del organismo de manera que, con el paso del tiempo, este hace mejor uso del medio ambiente para alcanzar sus propios fines". Holland agrega que la "mayor parte del esfuerzo de modelación para cualquier SCA se centra en seleccionar y representar los estímulos y las respuestas, debido a que los comportamientos y las estrategias de los agentes componentes son determinados por dichos estímulos y respuestas" (p. 25). Esta es la razón de ser del supuesto del stock de excedentes para los modelos basados en agentes.

- **Aprendizaje y desaprendizaje**

*Método histórico del racionalismo:* el supuesto del aprendizaje es comprendido como las dinámicas en que la empresa acumula capacidades y, por ende, competencias nucleares (Robledo, 2013). Este supuesto sustenta la importancia de las relaciones entre organizaciones en lo que se conoce como aprendizaje interactivo. El aprendizaje interactivo se basa en el intercambio de conocimiento y en la colaboración de organizaciones, interacción que se ejecuta tanto a través de transacciones de mercado, como mediante la colaboración y el establecimiento de redes Lundvall, (1985; 2007).

Ahora bien, el rompimiento de la inercia del aprendizaje pasado frente a los cambios ambientales (Hannan & Freeman, 1984; Miller, 1993; 1994; Romanelli & Tushman, 1986; Rumelt, 1995) se denomina desaprender, supuesto que en esta perspectiva es entendido como un esfuerzo voluntario para librar la organización del conocimiento que ya no es necesario. Las organizaciones deben desaprender sus viejas prácticas con el fin de permitir aprender nuevas formas de hacer las cosas, perspectiva que implica no solo la creación de nuevas capacidades y conocimientos sino también la eliminación de los ya existentes, sobre todo cuando el nuevo conocimiento choca de manera significativa con lo existente (Martin de Holan & Phillips, 2004). Desaprender es entonces positivo cuando un conocimiento es viejo y no se ha renovado oportunamente, en cuyo caso le impedirá a la organización la posibilidad de adaptarse a las nuevas exigencias del entorno en que compete (Hedberg, 1981).

Si el aprendizaje puede ser representado a través de la acumulación de las capacidades juega un rol importante para el desarrollo y evolución de un SRI, convirtiéndose en un elemento clave de interacción y conectividad del sistema (Archibugi, Howells, & Michie, 1999). Es así como el aprendizaje interactivo es la clave para el rendimiento económico de las firmas, regiones y naciones (Lundvall, 2007) y donde el éxito depende de la habilidad para aprender (Lundvall, 2007). En otras palabras, la habilidad

y rapidez con que se acumulen y se des-acumulen las capacidades es clave para el desempeño del sistema.

Si el aprendizaje *doing-interacting* (Lundvall, 2007) es producto de la acumulación de las capacidades, significa que estas son dinámicas y por lo tanto varían en el tiempo de manera intencional (Helfat et al., 2007). Por lo tanto, cuando los agentes suplen las oportunidades de innovación, ya sea de forma individual o mediante la interacción con otros agentes, las capacidades que se usan se acumularán y las que no se desacumularán; la acumulación o des-acumulación de una capacidad dependerá del factor de aprendizaje y desaprendizaje que adopte el sistema, el cual depende del marco contextual planteado por Lund (2004).

#### 4.4. Validación operacional

La validación del modelo operacional utilizó *la aproximación histórica amigable*, donde el enfoque utiliza los estudios de casos históricos específicos de una industria para los parámetros, interacciones y reglas de decisión de los agentes del modelo. En este enfoque un *buen* modelo es el que puede generar múltiples hechos estilizados observados en una industria, orientándose específicamente al comportamiento, reglas de decisión y las interacciones de los agentes y el entorno en el que operan; esta técnica se basa principalmente en relatos, siendo lo ideal tener varios relatos o casos.

El análisis se concentró en los comportamientos de los estudios empíricos realizados por Hobday (1995;1997) y Kim (1997) en el oriente asiático, y muestran cómo las denominadas *latecomer firms* de Corea del Sur, Taiwán, Hong Kong y Singapur vincularon el aprendizaje tecnológico a los mercados de exportación, aprendiendo a aprovechar las Oportunidades de Innovación e innovando en el sector de la electrónica, particularmente en los microprocesadores, circuitos integrados de aplicación específica y memorias de acceso aleatorio estática. A continuación se presentan los diferentes casos que validan las dinámicas de aprendizaje a través de la interacción y acumulación de las capacidades de innovación en la industria de la electrónica.

##### 4.4.1. Aprendizaje interactivo y acumulación de las capacidades en la industria de la electrónica

Corroborar los supuestos desde una aproximación histórica amigable desde la perspectiva de la cercanía geográfica (Lundvall & Johnson, 1994; Asheim & Gertler, 2004), la complementariedad (OECD, 2000; Asheim & Cooke, 1999; Schaaper, 2009; Lundvall, 1992; 1988) y la acumulación de las capacidades (Katz, 1986; Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday, 1997; Erns et al., 1998; Dutrénit, 2000; Lundvall, 2007; Lundvall & Vinding, 2007; Lund, 2007; Helfat et al., 2007), permitirá un mejor comprensión del aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992; 2007) en un SRI. El aprendizaje de los agentes en los sistemas

de innovación, adoptan dinámicas en la que acumulan sus capacidades y, por ende, competencias nucleares.

La relación de los supuestos anteriores con los patrones y prácticas de aprendizaje interactivo se asocian a situaciones y factores relacionados con el desarrollo de nuevos productos y su desempeño económico en el mercado (Lund, 2004), lo que implica la repetición y la experimentación del agente, con el fin de realizar más rápido y mejor un bien o servicio. Ahora bien, si el aprendizaje está localizado en las cercanías de las actividades previas de los agentes, debido a las restricciones que imponen las rutinas (Teece, 1988) significa que las capacidades están localizadas en los agentes heterogéneos del sistema, lo que le permite, a cada agente, integrar, construir y reconfigurar sus competencias para hacer frente a entornos que cambian rápidamente (Teece, Pisano, & Shuen, 1997).

Estudios de las denominadas *latecomer firms* (ver Tabla 4-2, página siguiente) de cuatro países del oriente asiático de la industria de la electrónica, señalan dinámicas de aprendizaje tecnológico a través de la construcción y la acumulación de las capacidades tecnológicas. Los estudios presentan el progreso histórico del desarrollo tecnológico y establece los mecanismos institucionales por el que las empresas adquieren tecnología extranjera (Hobday, 1995, pp. 1172-1179). La evidencia histórica de estos estudios muestran que las empresas pasan de un

Tabla 4-2. Ventajas y desventajas de *las latecomers firms*

*Latecomer Firm: Según (Hobday, 1995; 1997) se definen como una empresa de fabricación (existente o potencial) que se enfrenta a dos conjuntos de desventajas competitivas para intentar competir en los mercados de exportación.*

	Desventajas	Ventajas
<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Localizadas en un país en vía de desarrollo.</li> <li>- Des-localizadas de las fuentes principales internacionales de tecnología y de I+D.</li> <li>- Opera en forma aislada de los Ctel mundiales</li> <li>- Van detrás de la ingeniería, la I+D y las capacidades técnicas de producción.</li> <li>- La infraestructura industrial y tecnológica que les rodea es poco desarrollada.</li> <li>- Las exploradores que les apoyan son tecnológicamente débiles y técnicamente mal equipados.</li> <li>- Están des-localizadas de los principales mercados internacionales a los que se quiere llegar que por lo general están en países avanzados en tecnología.</li> <li>- Normalmente se confrontan con pequeños mercados subdesarrollados y usuarios no sofisticados.</li> <li>- Crean estructuras para superar las barreras de entrada al mercado y luego forjan vínculos entre usuarios y productores innovadores para agruparse a nivel industrial, en otras palabras basados en el desarrollo del país, desarrollan fuera de las grandes agrupaciones de proveedores y usuarios innovadores</li> <li>- Son claramente diferentes a los líderes y no son seguidores, por lo tanto sus estrategias no son ofensivas ni defensivas.</li> <li>- Son débiles tecnológicamente y aislados de usuarios experimentados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ofrecen bajos costos de fabricación como estrategia inicial de entrada al mercado.</li> <li>- Crean y ponen en práctica las estrategias empresariales que les permitan superar el mercado inicial y las barreras tecnológicas de entrada.</li> <li>- Construyen sistemáticamente las capacidades internas aumentando las ventas de exportación.</li> <li>- Rápido aprendizaje para ponerse al día y, en algunas regiones, sobrepasaron los líderes tradicionales.</li> <li>- Adquieren rápidamente capacidades de absorción llegando a mercados internacionales.</li> <li>- Construyen y acumulan capacidades de innovación tecnológica de manera progresiva, lo que les permite pasar de capacidades básicas a intermedias y de allí a avanzadas.</li> </ul>

simple montaje y puesta en marcha (capacidades básicas), a sistemas más sofisticados (capacidades avanzadas) que requieren ingeniería de software de gran precisión.

Utilizando un caso de estudio para cada país, Hobday (1997; 1995) examina cómo las denominadas *latecomer firms* acumularon sus capacidades de mercadeo, producción y desarrollo de producto, corroborando el supuesto de la regla de decisión en el modelo. Luego de corroborar la regla de cercanía, los agentes compararán las capacidades más explotadoras hacia sus capacidades más exploradoras (derecha – izquierda), similar a como se presenta el ciclo de exploración y explotación de Gilsing y Nooteboom (2006).

Las características del comportamiento en estas empresas fueron los mecanismos de la subcontratación o tercerización en la fabricación de equipos originales (*OEM*<sup>2</sup>), diseños de fabricación propio (*ODM*<sup>3</sup>) y la fabricación de la marca propia (*OBM*<sup>4</sup>), convirtiéndose en una escuela de formación para las empresas. Esto proporcionó una fuerte división del trabajo que permitió superar las barreras de entrada en la asimilación de las capacidades de mercadeo, producción y de I+D. (ver Tabla 4-2)

Las oportunidades de innovación generadas impulsaron la velocidad del aprendizaje, actuando como un dispositivo para el aprovechamiento tecnológico, para la adaptación e innovación en estas regiones. Este enfoque está sustentado en el modelo desde la perspectiva del jalonamiento del mercado (*market-pull*) descrito por Rothwell (1994). La interpretación de los resultados, se realizaron a través de un modelo simple, el cual describe cómo las empresas vincularon el aprendizaje interactivo a los mercados de exportación.

A diferencia de las empresas líderes, las *latecomers firms*, comenzaron con mejoras incrementales en sus procesos de producción hasta llevar sus innovaciones

de producto a procesos avanzados (capacidades avanzadas). Lo anterior ratifica el supuesto de la acumulación de las capacidades (Katz, 1986; Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday, 1997; Erns et al., 1998; Dutrénit, 2000; Lundvall, 2007; Lundvall & Vinding, 2007; Lund, 2004; Helfat et al., 2007), y ratifica la forma en que se suplen los atributos de las oportunidades de innovación a través del vector de capacidades de los agentes, siguiendo una orientación de cortoplacismo como se exponen en los ciclo de exploración-explotación de Gilsing y Nooteboom (2006). La evidencia sugiere que los orígenes y trayectorias de las *latecomers* siguen influyendo en las estrategias, estructuras y orientaciones tecnológicas, aunque el estudio se centra en la electrónica pues se reconoce que las rutas y patrones de aprendizaje pueden variar de sector a sector (Lundvall & Johnson, 1994; Lund, 2004).

A continuación se describen cuatro casos de estudio estilizados de las *latecomers firms* utilizando la técnica de *aproximación histórica amigable*. Los casos ilustran las estrategias de tecnología y rutas de aprendizaje. Cada caso describe el origen de la empresa, hitos y logros tecnológicos, aprendizaje y vínculos entre mercado y tecnología con el fin de exponer cómo aprenden y acumulan las capacidades a través del tiempo. De igual manera, se busca ilustrar las típicas estrategias de tecnología y rutas de aprendizaje.

<sup>2</sup> OEM. Original Equipment Manufacture.

<sup>3</sup> ODM. Own-Design and Manufacture.

<sup>4</sup> OBM. Own-Brand Manufacture.

#### 4.4.2. El caso de la empresa Anam de Corea del Sur

Anam es la mayor empresa de ensamble de chips en el mundo. Desarrolla subcontratos de ensamblaje de semiconductores y realiza pruebas para las grandes empresas del mundo de la electrónica. El ensamble de chips implica encapsular un circuito integrado pequeño con un plástico de protección o revestimiento cerámico. Hoy en día, se trata de una actividad muy compleja, automatizada con una variedad de procesos, lo que implica capacidades de explotación (mercadeo y producción) de ensamble avanzadas.

**Origen y puesta en marcha:** Anam inició como productor de bicicletas en 1956. En 1968 se convirtió en la primera empresa de Corea del Sur para entrar en el negocio de empaques de chips. Después de presenciar las operaciones cercanas de las empresas de chips norteamericanas, se diversificó. Luego de intentar vender sin éxito servicios de embalaje directamente a las filiales de las empresas transnacionales, dio el salto para vender directamente a las empresas matrices en los Estados Unidos bajo una nueva compañía de marketing llamada Amkor (más tarde cambiado a Anam/Amkor). El principal recurso competitivo disponible en ese momento eran las capacidades de mercadeo y producción de mano de obra no calificada y semicalificada, así como rutinas del conocimiento local de las prácticas comerciales, la gestión y el trabajo.

**Hitos y logros tecnológicos:** La exportación de Anam creció a un ritmo constante de US\$ 180 millones en 1980, US\$500 millones en 1984, US\$1,2 miles de millones en 1990 y US\$1,8 miles de millones en 1992. Para 1991 se había exportado un total acumulado de US\$10 billones, principalmente a través de Amkor en los Estados Unidos. Para 1993 se controlaba alrededor del 40% del subcontrato del mercado de ensamblaje de chips del mundo. En 1989 Anam compró una planta de embalaje en Filipinas de la firma estadounidense AMD<sup>5</sup>. Esta planta se utilizaba para ensamblar productos relativamente simples fuera de la planta matriz, utilizando comparativamente mano de obra de bajo costo en Filipinas, lo que significaba que el costo en sus capacidades era relativamente mayor. Para 1993 Anam/Amkor tenía operaciones de marketing en los Estados Unidos, Europa, Japón y Hong Kong. La sucursal de Amkor en EE.UU., fue su mayor centro de ventas en el extranjero. Las oficinas reunieron información técnica sobre las futuras necesidades de embalaje trabajando de forma conjunta con el cliente. Anam contaba con más de 200 clientes en todo el mundo, su mayoría en los Estados Unidos.

**Mecanismo de aprendizaje a través del arte del ensamblaje (1968-1980):** Este

<sup>5</sup> AMD. Advanced Micro Devices, Inc. Compañía estadounidense de semiconductores establecida en Sunnyvale, California. Desarrolla procesadores de cómputo y productos tecnológicos relacionados para el mercado de consumo.

fue un periodo largo y lento para la absorción y el dominio de las diferentes técnicas del ensamblaje manual, pasando de las capacidades básicas del ensamblado a unas capacidades intermedias del ensamblado semiautomatizado. Lo anterior ratifica cómo se manifiestan las dinámicas de aprendizaje interactivo (Lundvall B.-A. , 2007; Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall, 2007) y, en particular, el patrón o velocidad con que se acumulan las capacidades de innovación a partir del factor de aprendizaje que se adopte (Lund, 2004). Inicialmente, la empresa comenzó con la importación de una especie de láminas/paquetes (wafers) de TI<sup>6</sup> y RCA<sup>7</sup> ensambladas en regiones localizadas de Seúl, Incheon y Gwangju de Corea, para luego reexportar de nuevo a los Estados Unidos. Los primeros productos eran transistores simples y dispositivos discretos. Para 1978, la compañía había progresado hasta el montaje y pruebas de circuitos integrados a pequeña escala. Durante esta fase se necesitaron capacidades de I+D de niveles bajos.

Los principales clientes de Estados Unidos proporcionaron ayuda con la distribución de la fábrica, el ensamble de maquinaria,

ingeniería de respaldo, especificaciones y materiales detallados. El equipo de ensamblaje era principalmente maquinaria depreciada enviado desde América. Los clientes enviaron ingenieros una o dos veces al año para ayudar en la creación y el funcionamiento de las nuevas operaciones. Las oportunidades de innovación provenían de otros sistemas de innovación y solicitaban OEM. Durante la primera fase Anam vendió subcontratación en ingeniería intensiva sin realizar I+D, producto de sus capacidades de mercadeo y producción.

**Mecanismos de aprendizaje a través de los procesos y habilidades de la ingeniería:**

Se requirió un aprendizaje basado en las habilidades del proceso de ingeniería para que los procesos de fabricación fueran cada vez más complejos. Algunos trabajos de ingeniería de procesos dentro de la empresa comenzaron en 1980 con clientes estadounidenses, dispuestos para asegurar altos estándares de calidad, la productividad y la entrega. Durante 1982-1983 la industria de los chips resonó y muchas empresas estadounidenses fueron incapaces de satisfacer la demanda de sus componentes, supuesto que anteriormente fue sustentado desde la perspectiva del recurso tiempo (Markman, Gianiodis, Phan, & Balkin, 2005) y volatilidad de las oportunidades de innovación.

Para satisfacer una demanda cada vez más sofisticada y diversa, como se sustentó en el numeral 4.3.1, Anam invirtió en obras de ingeniería conjunta con los clien-

<sup>6</sup> TI. Texas Instruments Company

<sup>7</sup> El conector RCA, también llamado conector *Cinch*, es un tipo de conector eléctrico negro común en el mercado audiovisual. El nombre proviene del nombre de la antigua compañía de electrónica estadounidense *Radio Corporation of America*, que fue la que introdujo el diseño en 1940.

tes más grandes de los Estados Unidos en sus propias instalaciones. Estas primeras incursiones en la ingeniería de procesos culminaron en 1984, año en que se creó el nuevo departamento de ingeniería e I+D de Anam (ERD). Más que una oficina de I+D, la función principal del ERD era supervisar internamente la ingeniería de respaldo para la producción dentro de la fábrica e introducir la automatización de varias tareas de embalaje y pruebas, en otras palabras, se realizaba I+D para las mejoras de las capacidades de producción.

El departamento de ERD abordó tres sistemas de aspectos técnicos: ingeniería para nuevos ensamblajes, que involucró un trabajo conjunto con los clientes en la mejora, mantenimiento y adaptación de los equipos y ensamblaje, lo que a su vez requirió de un trabajo de interacción con los proveedores en el ensamblaje de láminas o wafers así como la manipulación de tecnología; y la instalación, uso y modificación de maquinaria de precisión (por ejemplo, el equipo utilizado para la producción de moldes y troqueles). Por encima de todo, el ERD se preocupó por mejorar y mantener los procesos de fabricación básicos de Anam.

**Mecanismo de aprendizaje a través de la localización (1985-1988):** Consistió en un sutil pero importante *switch* desde un jalonamiento del cliente o mercado (*customer pull; market pull*) y un empuje del proveedor de desarrollo tecnológico (*su-*

*plier-push; technology-push*). Esto marcó un cambio en el aprendizaje con miras a alcanzar la innovación que se centraba en las mejoras incrementales de los procesos de producción. Respondiendo a la creciente complejidad de las oportunidades de innovación, Anam tomó la iniciativa ofreciéndole al mercado sus propias especificaciones, supuesto que se describe en el numeral 4.3.1 como construcción de la fórmula de éxito. En muchos casos, el rol del comprador pasó de proporcionar todas las especificaciones detalladas a esbozar un diseño o esquema general de los requisitos (*layout*). En la mayoría de los productos convencionales, Anam trabajó cada vez más en las especificaciones del cliente.

Fueron contratados más ingenieros y algunos de ellos fueron promovidos a cargos superiores. El ERD tomó la tarea de comprar los equipos de producción, instalarlos y adaptarlos según fuera necesario. Los ingenieros competentes llegaron para modificar y operar una amplia gama de equipos de ensamblajes complejos. Ocurrieron cambios en los procesos incrementales como las mejoras menores que hicieron los ingenieros en los equipos en beneficio de la productividad y la calidad. El comportamiento anterior se sustenta en un aprendizaje interactivo de Anam con el mercado y la construcción, en acumulación de las capacidades de producción, mercadeo y en el enganche de ingenieros que fortalecieron las capacidades de I+D.

Varios factores propiciaron el ritmo o el factor de aprendizaje como se expuso anteriormente (Lund 2004). El aumento de las oportunidades de innovación y sus beneficios propiciaron la importancia en la mejora de la calidad con el fin de maximizar las exportaciones en esta región. Estos factores llevaron a Anam a realizar más ingeniería interna o *I+D in house*. El comportamiento anterior puede observarse en el modelo, donde algunos agentes tercerizan o subcontratan la I+D a través de contratos formales como la externalización de la I+D y el desarrollo de innovación de manera conjunta (para más detalles ver Bzhalava, 2015), a fin de especializarse en otras capacidades de su vector como las capacidades de producción y de mercadeo. Sin embargo, cuando se ha pasado de unas capacidades básicas a unas capacidades intermedias o avanzadas, el agente tendrá la capacidad de utilizar y usar su vector de capacidades por el tiempo en que las oportunidades de innovación entreguen beneficios.

**Acumulación de las capacidades de I+D (1988-1993):** La mejora de las capacidades de I+D de la empresa, junto con una profundización de habilidades de proceso, presentaron un cambio significativo. Después de 1988, el ERD de Anam incrementó su trabajo de desarrollo de nuevos procesos de ensamblaje y de prueba con varios fabricantes principales de chips, incluyendo IBM, Texas Instrument y Motorola. Anam adoptó una estrategia deliberada de tecnología para explotar su posición como especialista mundial centrado en el ensamblaje. Para satisfacer la futura demanda, la

empresa trabajó más en técnicas de montaje de vanguardia, modelando el software aplicado para diseños de ensamblajes de chips, y desarrolló nuevos procesos de ensamblaje. Así, a través de la I+D, se aumentaron las capacidades de mercadeo y producción a través de mejoras significativas.

Anam interactuó con otros agentes de las regiones localizadas de Seúl, Incheon y Gwangju incluyendo el mercado, realizando proyectos específicos para garantizar la calidad y la entrega. En 1993 Anam, había conseguido capacidades de mercadeo y producción en el ensamblaje bastante avanzadas, que se extendía a productos como ASICs<sup>8</sup> y chips RISC<sup>9</sup>. Los últimos ensamblajes funcionaban automatizados con alto volumen de producción e instalaciones de pruebas, bajo un sistema integrado de control de fabricación por computador (CAM), y utilizando técnicas de control de procesos estadísticos.

La compañía había construido competencias en los modelos informáticos de los

<sup>8</sup> Circuito Integrado para Aplicaciones Específicas (ASIC, por sus siglas en inglés): Es un circuito integrado hecho a la medida para un uso en particular. Se usa para una función específica. Por ejemplo, un chip diseñado únicamente para ser usado en un teléfono móvil es un ASIC.

<sup>9</sup> En arquitectura computacional, *Reduced Instruction Set Computer (RISC)* es un tipo de diseño de CPU generalmente utilizado en microprocesadores o microcontroladores con las siguientes características fundamentales: instrucciones de tamaño fijo y presentadas en un reducido número de formatos.

procesos, técnicas de análisis de datos para la fiabilidad del producto y análisis de fallas. El comportamiento estilizado relacionaba el aprendizaje con los recursos, las capacidades y las competencias nucleares, perspectiva que fue utilizada en el modelo.

Por último, los servicios de pruebas de los chips proporcionaron los servicios del diseño de los circuitos integrados para los clientes del mercado. La compañía continuó trabajando con proveedores de equipos de Japón y los Estados Unidos para modificar los sistemas y así poder cumplir con las nuevas especificaciones. La mayor parte de las capacidades de explotación avanzadas de Anam fueron transferidas a otras filiales como Anam Filipinas Inc., complementando las capacidades de otras filiales localizadas en otros SRI como Seúl, Incheon y Gwangju. En 1993 la empresa empleó a más de 200 ingenieros, de los cuales 70 se centralizaron en el laboratorio del departamento ERD. Aunque el contingente de ingeniería era pequeño para los estándares internacionales, este proporcionó a Anam capacidades avanzadas enfocadas y orientadas a suplir las oportunidades de innovación.

#### **Síntesis e interpretación del caso Anam:**

El caso de Anam ilustra cómo evolucionan los agentes de un sistema de innovación localizado desde la perspectiva de las *latecomers firms*; del mismo modo, describe cómo se acumulan las capacidades de mercadeo y producción en el ensamble

de chips en el mercado de la electrónica, pasando por las innovaciones de procesos menores e incrementando sus innovaciones a lo largo de una trayectoria tecnológica. Anam demostró ser capaz de ampliar los límites de su nicho tecnológico elegido, adquiriendo a través de los años los conocimientos y las capacidades necesarias para enfocar sus esfuerzos en las oportunidades de innovación demandadas por el entorno. El caso permite comprender cómo aprende y acumula sus capacidades un agente, desde una perspectiva *market pull*, desde el nivel más básico a su nivel más avanzado.

El progreso de Anam describe cómo se pueden mejorar las capacidades de innovación en al menos tres direcciones. En primer lugar, las innovaciones de proceso menores permitieron a la firma obtener mejoras de productividad y calidad, modificando los equipos y la adaptación de la maquinaria gradualmente. Lo anterior arrojó beneficios en la productividad y la calidad de los productos de la firma. En segundo lugar, la firma aprendió a construir fórmulas de éxito respondiendo a la demanda a través de la interacción con otras firmas, lo que se pudo reflejar en las innovaciones de producto de menor importancia con relación a los atributos demandados por las oportunidades de innovación.

Por último, la firma aprendió la relación que tienen sus productos con las mejoras en los procesos, cómo realizar la ingeniería inversa trabajando estrechamente en

especificaciones del producto e interactuando con otros agentes de las regiones localizadas de Seúl, Incheon, Gwangju y el mercado. Los patrones mencionados anteriormente (de explotación y exploración) propiciaron el aprendizaje y la acumulación de las capacidades de mercadeo, producción y de *I+D*. La firma pasó de explotar sus productos a aprender a explorar mejoradas y nuevas formas de producir sus productos, lo que le permitió especializarse en un principio de manera funcional en las capacidades de mercadeo y producción y, posteriormente, en las capacidades de *I+D*. Tal comportamiento en el tiempo proporcionó la variación y acumulación de las capacidades de las posiciones más explotadoras hacia las posiciones más exploradoras.

#### 4.4.3. El caso del RJP de Hong Kong

**Origen, puesta en marcha:** RJP<sup>10</sup> fue una compañía fabricante de productos electrónicos de consumo fundada en mayo de 1971 con nueve empleados. En 1993 las ventas fueron del orden de HK<sup>11</sup> \$400 millones (US\$57 millones). La firma empleó alrededor de 3.200 empleados (en su mayoría en China) y tuvo ventas y centros de servicio en Los Ángeles, Chicago y Vancouver (40% de las ventas fueron de los Estados Unidos). Su gama de productos incluía computadores de bolsillo (*pockets*), buscapersonas, traductores, juegos electrónicos, teclados, karaokes calculadoras, electrónica médica simple, reproductores de cassette de radio de autos y relojes.

**Hitos y logros tecnológicos de RJP** (ver Tabla 4-3).

Tabla 4-3. Productos claves, hitos y logros tecnológicos de RJP

Productos claves, hitos y logros tecnológicos de RJP	
1971	La compañía se puso en marcha, producción de reguladores de voltaje de luz
1973	Ingresa a la producción de la calculadora
1975	Comienza a realizar los relojes digitales y juegos de TV y a usar los microprocesadores (MPU)

<sup>10</sup> RJP. Conocido como Re-mapping, Remote Jack Pack.

<sup>11</sup> Dólar de Hong Kong

Productos claves, hitos y logros tecnológicos de RJP	
1977	Inicia el trabajo de diseño de chips conjunto con TI para los juguetes de radio control
1979	Ingresa al mercado de juguetes educativos
1981	Se diseñaron las reglas electrónicas, utilizando microprocesadores (MPU); se da inició a la producción de dispositivos médicos
1986	Se diseña el ordenador de bolsillo para la fabricación (OEM y ODM)
1991	Expande la gama de audio, añadieron sistemas de karaoke, agendas electrónicas y directorios
1993	Diseña el ordenador de bolsillo y alcanza una gama de productos de 200 entradas

Fuente: Elaboración propia.

**Aprendizaje bajo OEM y ODM:** Al igual que muchas empresas de Asia oriental, RJP comenzó a fabricar productos simples bajo la tercerización de su manufactura, trasladándose poco a poco a una electrónica más compleja. A principios de la década de 1990 se había diversificado en la parte inferior de la industria informática, ofreciendo diseños propios de relojes *datbanks* y computadores *pocket* o de bolsillo. Bajo OEM, la empresa aprendió cómo fabricar una variedad de productos. JC Penney, el punto de venta de RJP en Estados Unidos, asistió con ingenieros y el conocimiento básico en la fabricación en sus primeras etapas con miras a garantizar calidad entrega y productividad. Otros agentes locales y extranjeros localizados en el SRI de Hong Kong le proporcionaron información técnica y del mercado de exportaciones a través de la interacción y el intercambio de conocimiento.

A través del tiempo, RJP aumentó su contribución al contenido global de diseño de la mayoría de sus líneas de productos y experimentó con nuevos modelos trabajando estrechamente con varios agentes proveedores de chips en los Estados Unidos. Ingenieros de ventas de Texas Instrument eran fuente importante para el diseño de la tecnología de chips. El objetivo de Texas Instrument era ampliar las ventas de los diferentes componentes con el fin de comprar calculadoras terminadas bajo la subcontratación. Con el aumento de las demandas de diseño, la firma contrató ingenieros de Texas Instrument; la interacción entre RJP y Texas Instrument se profundizó ya que ambas compañías percibían beneficios producto de la interacción y complementariedad en las capacidades.

A mediados de la década de 1980 la compañía controló el diseño de la mayoría de sus líneas de productos clave y había registrado varias patentes en los Estados Unidos. Como

cualquier empresa pequeña y naciente, la mayoría de sus inversiones en tecnología fueron realizadas en las capacidades de producción y de mercadeo, sin realizar *I+D*, este supuesto o regla de decisión es señalado en el numeral 4.3.1, donde Cohen y Levinthal (1989; 1990) señalan que una firma a través de la capacidad de mercadeo es más capaz de reconocer y explotar una nueva información relevante para un mercado de productos en particular (Abernathy, 1978; Lundvall, 1992). En 1993 habían trabajado un poco en la investigación, sobre todo para los futuros diseños de relojes *datbanks*, los teclados musicales y bienes educativos. El número de ingenieros en Hong Kong aumentó de 20 en 1986 a 40 en 1993, como resultado de la expansión general de los negocios y las exigencias técnicas del entorno en sus oportunidades de innovación.

*Desde ODM hacia OBM*<sup>12</sup>. Durante la década de 1980, RJP progresó de OEM hacia ODM para luego realizar su marca propia. La OBM se produjo cuando la empresa inicia a vender productos bajo su propia marca, capturando más ingresos por el valor agregado en la construcción de sus propias fórmulas de éxito con relación a las oportunidades de innovación demandadas por el entorno. Durante 1981-1986 RJP diseñó un producto combinado de calculadora-reloj-digital que resultó ser una fuente de ingresos para la organización. Luego la

demanda se desaceleró produciendo la diversificación en los *datbanks* de bolsillo, aunque los relojes seguían siendo una gran fuente de ingresos para la firma, junto con juegos electrónicos.

En 1986, RJP diseñó y lanzó sus propias agendas electrónicas (*pocket*) y relojes (*datbanks*) de bolsillo con su marca propia, en respuesta a las oportunidades de innovación generadas por el entorno. El negocio OEM con frecuencia imponía restricciones a RJP. Las ofertas de OEM a menudo implicaban un acuerdo exclusivo con otro agente comprador, lo que limitaba otras oportunidades de mercado. Algunos clientes de OEM/ODM (a menudo pequeñas empresas estadounidenses) vinieron con nuevas ideas de productos para que RJP diseñara y desarrollara sistemas experimentales. Este fue un medio importante por el cual RJP centró su aprendizaje en las necesidades de los mercados de exportación, obligando a mejorar continuamente la calidad del producto y a realizar envíos individuales, dado que los retrasos podrían conducir a la pérdida permanente de alguna oportunidad de innovación que fuera suplida por otro agente competidor del sistema localizado de Hong Kong.

**La transferencia de OEM a China:** Las dos oficinas principales de RJP localizadas en el SRI de Hong Kong se encargaban de las finanzas, el mercadeo y las ventas. Todas las operaciones de fabricación se habían trasladado a China para aprovechar los bajos costos de producción. Doce

<sup>12</sup> Fabricación de marca propia (*own-brand manufacture*).

plantas de producción separadas fueron operadas en *Schenzen y Guangdong*. Al igual que muchos otros pequeños productores de Hong Kong, RJP había aprendido a acoplarse a algunas oportunidades de innovación del entorno. Para poder beneficiarse de la apertura en China, RJP creó empresas mixtas con una red de alianzas con otras empresas del continente incluyendo *Softron, Zhenbao, Starmate Jardin y Hunan Wire*. *Softron* es una firma de ingeniería de software creada por los profesores de la facultad de la Universidad de Guangdong. Sus ingenieros de software estaban habilitados para llevar a cabo más trabajo de ingeniería de lo que hubiera sido posible en Hong Kong. En *Zhenbao* era una firma que operaba una gran red de venta en toda China, con la promesa de crecimiento futuro para RJP en esta región. El comportamiento anterior representa el supuesto del aprendizaje y desaprendizaje a través de las alianzas e interacciones con otros agentes que complementen las capacidades.

#### **Síntesis e Interpretación del caso RJP:**

Al igual que el caso de Anam, el aprendizaje de la firma RJP evolucionó con la expansión del mercado. RJP cerró gran parte de su brecha tecnológica acumulando capacidades progresivamente desde las primeras etapas del ciclo de vida del producto, pasando de una producción sencilla a una ingeniería del diseño y desarrollo complejo. Durante la década de 1980, RJP internalizó su sistema de capacidades de diseño de chips siendo capaz de ofrecer nuevas in-

novaciones de productos bajo el esquema *ODM y OBM*. El comportamiento anterior demuestra cómo la firma se especializó en un periodo de tiempo importante, de manera integral. Bajo el esquema *OEM/ODM* los ingenieros de RJP trabajaron mano a mano con los compradores extranjeros y los proveedores de componentes.

Para finalizar, RPJ sustenta cómo los casos anteriores la acumulación de sus capacidades y la ampliación de sus competencias, introduciendo diseños de productos de menor importancia y modificaciones incrementales en sus procesos. Como Anam, RJP emprendió el propósito de construir y acumular sus capacidades de innovación progresivamente en todo su vector, aprendiendo a través del *learning by doing - interacting* y aprovechando las oportunidades de innovación del mercado y aprendiendo de este. RJP siguió dependiendo de *OEM* para algunas de sus ventas y en esa medida era todavía una *latecomer firm*.

Con *OBM*, sin embargo, comenzó la transición de una firma *latecomer* a ser una firma con una estrategia seguidora, compitiendo con diseño mejorado y añadiendo nuevas características a sus productos, las cuales fueron protegidas y patentadas. Los patrones de aprendizaje observados en el caso de RPJ ratifican los supuestos anteriormente sustentados en los ciclos de exploración y explotación de Nootboom (2000), donde la explotación es empleada eficientemente a través de las capacidades, con el fin de sobrevivir en el corto

plazo mientras que la exploración desarrolla nuevas capacidades que son necesarias para sobrevivir en el largo plazo. Por lo tanto, para sobrevivir en el corto y largo plazo, RPJ combina tanto la exploración y la explotación.

#### **4.4.4. El caso de Weames Hollingsworth Group, de Singapur**

**Origen y expansión:** En 1992, el Grupo *Wearnes Hollingsworth* fue el mayor fabricante local de computadores personales Pcs<sup>13</sup> y sus componentes en Singapur. Una nueva división (*Wearnes Computer Systems*) que operaba en más de 50 centros de servicio en Asia-Pacífico y Europa, vendía computadoras *Wearnes* marca propia brindando apoyo a la post-venta. *Wearnes* comenzó como distribuidor de propiedad australiana de coches británicos. En la década de 1930 la participación mayoritaria de la empresa fue comprada por la firma *Overseas Chinese Banking Corporation*. La compañía comenzó el ensamblaje de conectores simples para los sistemas electrónicos a mediados de la década de 1960. El ensamble de metal, el moldeo por inyección de plástico y el recubrimiento comenzó a mediados de la década de 1970. El grupo comenzó a hacer computadoras en una empresa subsidiaria llamada *Wearnes Automation* en 1983. También introdujo unidades de disco duro, unidades de disquete, tarjetas *add-on* y amplió su gama

de componentes electromecánicos incluyendo los conectores.

#### **Aprendizaje bajo OEM en computadores.**

La firma *Wearnes* construyó una reputación de alta calidad, con entrega rápida al proveedor *OEM* de sistemas informáticos, tarjetas de circuitos integrados y sus componentes. Varios altos directivos fueron contratados en las filiales de las empresas transnacionales en Singapur. La mayoría de los jóvenes ingenieros y técnicos fueron reclutados de las universidades y escuelas politécnicas locales. Bajo la *OEM*, los compradores de las empresas transnacionales suministraban computadoras *Wearnes* con las especificaciones técnicas para los productos requeridos (desarrollo a la medida). Para *Wearnes*, las ventas *OEM* habilitaban las economías de escala en su producción así como la compra de materiales e insumos clave (por ejemplo, microprocesadores). Los volúmenes *OEM* también justificaban inversiones en la automatización tecnológica, permitiendo mejorar la productividad y la calidad. Bajo *OEM* la empresa aprendió los rigores de la alta calidad y la entrega rápida de producción.

Para la fabricación de computadoras y productos relacionados, la empresa mejoró sus habilidades existentes en las tecnologías electromecánicas de alta precisión. Ingenieros (hasta el nivel de *Master of Science MSc*) fueron reclutados de las universidades locales pertenecientes al SRI. Los *master business administration* (MBA) no fueron reclutados a menos que también

<sup>13</sup> Personal computer system

llevarán a cabo carreras de ingeniería. A principios de 1990, *Wearnes* seguía viendo sus principales puntos fuertes tecnológicos en ingeniería de alta calidad aplicados a las tareas de interfaz electrónica y electromecánica, en la fabricación de conectores, el embalaje de chips, moldeo de plástico y galvanización, en lugar del software y de la I+D.

Poco a poco, la firma desarrolló sus propios diseños internos así como las ventas de su marca propia en computadoras, progresando más allá de ser una *OEM*. Sin embargo, al igual que con RJP, *Weames* continuó junto a *OEM* y *OBM* como parte de su estrategia de negocio para la expansión. Por ejemplo, en 1992 la empresa expandió en gran medida su negocio *OEM* mediante la celebración de un acuerdo a largo plazo para suministrarle a IBM, quien ofrecía beneficios, prestigio en el mercado y otras ventajas de escala. Este comportamiento demuestra un aprendizaje interactivo entre ambos agentes y las oportunidades de innovación existentes en el entorno.

**El aprendizaje a través de adquisiciones y contratación de personal:** Para organizar la expansión en los Pcs, fue contratado un director que venía de una empresa en Singapur relativamente pequeña, dicho director había sido contratado previamente en la fabricación de placas de circuitos impresos. Este director fue asesorado en la expansión del negocio de computadoras y en 1992 se había convertido en un importante miembro de la junta directiva. Los

singapurenses capacitados en empresas extranjeras fueron buscados y reclutados para trabajos específicos en ingeniería y gestión. La firma también adquirió conocimientos mediante la adquisición de varias empresas pequeñas de alta tecnología en los Estados Unidos, incluyendo una participación del 40% de la firma *Advanced Logic Research*, y otras dos firmas de diseño de chips.

También compró, en 1989, en Hong Kong, la firma *United Circuits* (un fabricante de *boards* de circuitos integrados) y una empresa de empaquetamiento de chips llamada *Omedata* (Indonesia) en 1986. Algunas de las adquisiciones resultaron ser costosas y difíciles de integrar tecnológicamente. A través de sus inversiones en Estados Unidos, sin embargo, la empresa adquirió nuevas capacidades de diseño de chips para añadir a sus fortalezas principales en electromecánica por medio de la complementariedad. A principios de 1990, invirtió en promedio alrededor de 6% de sus ventas anuales en I+D, principalmente en investigación aplicada al trabajo y orientada a las necesidades de producción.

**Síntesis e Interpretación del caso *Wearnes*:** El caso de la firma *Weames* confirma la naturaleza de la dependencia de la trayectoria del aprendizaje tecnológico de las firmas *latecomers*. Las capacidades de software y de I+D se han añadido a la electromecánica, ingeniería de precisión y las habilidades básicas de fabricación, en lugar de sustituirles. Aunque hubo una

tendencia a moverse de las capacidades básicas a las avanzadas a través del tiempo, la empresa adquirió las capacidades y competencias requeridas para maximizar las ventas y los beneficios de la organización, de acuerdo con una estrategia más abierta y ampliada. *Weames* progresó del subcontrato de ensamblaje de conectores a *OEM*, luego a *ODM* y seguido a *OBM* en las computadoras, las capacidades fueron construidas, acumuladas y aprendidas con relación a la tecnología, la organización, la gestión y comercialización de sus productos. Como *latecomer firm*, la subcontratación mantuvo una opción importante para la empresa, a pesar de sus habilidades de diseño de productos y aspiraciones de tener su marca propia.

#### 4.4.5. El caso de Microelectronics Technology Inc. (MTI), de Taiwán

**Origen y desarrollo:** MTI, un proveedor de circuitos integrados de telecomunicaciones (principalmente sistemas de microondas) y componentes para transmisión directa por satélite, radio digital y sistemas de comunicaciones marítimas, se inició en 1983 con ocho fundadores, todos de Silicon Valley. En 1992 el volumen de negocios fue de alrededor de US\$100 millones. Unas 700 personas fueron empleadas en la región de Fujian Taiwán y otras 100 en los Estados Unidos. Cada uno de los fundadores habían trabajado para las empresas estadounidenses, incluyendo *Hewlett-Packard (HP)*, *TRW* y *Harris*. Sin embargo, MIT regresó a Taiwán en respuesta a las oportu-

nidades de innovación, beneficios y crecimiento del mercado. El gobierno ofreció a MTI un paquete de incentivos fiscales y tributarios, facilitándoles instalarse en el parque científico e industrial *Hsinchu Science Based Industrial Park*.

Las habilidades y las conexiones de sus fundadores en Estados Unidos hicieron que la tecnología de aprovisionamiento y adquisición presentara pocos problemas a la empresa. MTI comenzó con una pequeña línea de circuitos integrados para los productos de microondas, y sus nichos principales fueron las antenas satelitales y sistemas de comunicación para buques y aviones. Los primeros pedidos de exportación se produjeron bajo *OEM* para fabricantes estadounidenses que luego suministraron a cadenas de televisión por satélite. Los productos ofrecían una mano de obra barata, principal atractivo para los compradores de Estados Unidos. La mayoría de sus componentes fueron importados de los Estados Unidos y Japón. Los directores aprendieron nuevas habilidades tecnológicas y de marketing mientras se trabajaba con los clientes más grandes *OEM* en Norteamérica.

**Aprendizaje a partir de *OEM* a *OBM*:** Con la expansión, la producción de MTI pasó progresivamente a una automatización. Las capacidades de mercadeo y producción se acumularon bajo *OEM* y a mediados de la década de 1980, la empresa comenzó a introducir sus propias innovaciones de productos, algunos fueron *ODM*

y otros fueron *OEM*. En 1986 el MTI desarrolló un nuevo amplificador especial de bajo ruido para el campo satelital. Luego se desarrolló la terminal estándar más pequeña y ligera del mundo (INMARSAT)<sup>14</sup>, para las comunicaciones marítimas. Otras tantas innovaciones de producto incrementales ayudaron a la empresa a crecer y mejorar su imagen en los Estados Unidos. En 1992 se exportaron alrededor del 90% de los productos, de los cuales más de la mitad seguían siendo suministrados bajo *OEM/ODM*. En cuanto a la estrategia de *OEM*, el tamaño de la compañía permitió adelantar una competencia directa con sus principales proveedores. También adelantó a gran escala la inversión en I+D sobre sus principales innovaciones. Sin embargo, su pequeño tamaño le permitió ser lo suficientemente ágil para responder rápidamente a los cambios de nichos y las nuevas exigencias del mercado.

**El avance tecnológico:** A partir de 1992, la capacidad de producción de MTI fue comparable con la de las empresas líderes a nivel mundial. Entre otros, se crearon instalaciones que incluían estaciones de trabajo CAD<sup>15</sup>/CAM para el diseño de circuitos de microondas, instalaciones de limpieza, equipos de precisión y sistemas

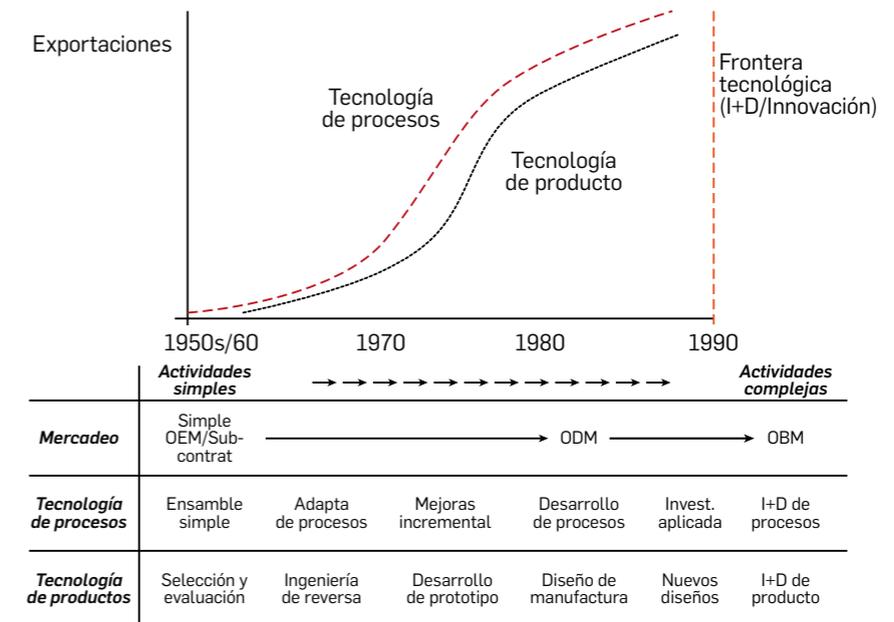
automáticos de corte. De los 700 empleados, alrededor de 130 eran ingenieros con títulos, incluyendo algunos doctores. De los ingenieros, el 50% fueron formados a nivel local y el resto fue entrenado en los Estados Unidos. Con el fin de trabajar con sus principales clientes en el desarrollo e ingeniería de sus nuevos productos, MTI había creado dos filiales, una en Estados Unidos y otra en Canadá. La base de clientes MTI, en 1992, incluía a muchos de los antiguos empleadores de los fundadores de la empresa (por ejemplo, *HP, Digital Microwave Corporation y Hughes Network Systems*). Los clientes más nuevos incluían diferentes escuelas de marina en el Reino Unido. Al igual que otras empresas nuevas taiwanesas de alta tecnología, la estrategia de MTI era aumentar *OEM* cuando fuera posible.

**Interpretación del caso MTI:** El caso del MTI confirma otros hallazgos y resultados en la acumulación de las capacidades de innovación. El aprendizaje se dio a partir de los vínculos e interacciones con clientes de exportación y proveedores abastecedores de tecnología inicialmente, desde las capacidades de mercadeo; las interacciones entre explotadores y exploradores se daba particularmente en una región de manera localizada, el objetivo de dichas interacciones fue responder a los atributos demandados por las oportunidades de innovación localizadas y de otros sistemas. Una combinación de esfuerzos internos y proyectos conjuntos fueron los que generaron un modelo de empuje por el usuario (*user-pull*)

de las innovaciones. Las innovaciones fueron de tipo incremental, centradas en los bajos costos en los procesos de producción que luego fueron trasladados a las mejoras del producto. *OEM* proporcionó un canal para el crecimiento del negocio de exportación y el aprendizaje tecnológico.

4.4.6. Análisis de los casos Anam, RJP, Wearnes y MIT

Los casos descritos y reportados en la literatura especializada sobre la validación operacional del modelo permiten realizar un análisis del aprendizaje interactivo de las *latecomers firms* en la industria electrónica del oriente asiático. Hobday (1995; 1997) y Kim (1997; 1999) sugieren un marco simple para analizar la naturaleza, dirección y los determinantes del aprendizaje de las *latecomers firms* en los sistemas de innovación, a partir de la recopilación de material histórico y la evidencia de casos para países en desarrollo. A continuación se hace un recuento en el contexto del aprendizaje de las firmas, a través de la acumulación de las capacidades, desde los niveles más básicos, hasta las capacidades avanzadas o de frontera tecnológica (ver Figura 4-2).



Fuente: Elaboración propia a partir de (Hobday M. , 1995)

Figura 4-2. El Aprendizaje a través de la acumulación de las capacidades: casos de estudio en el oriente asiático.

<sup>14</sup> INMARSAT (*International Maritime Satellite Organization*): Fue el primer sistema de comunicación satelital marítimo puesto en marcha en 1982.

<sup>15</sup> CAD/CAM. Computer Assisted Design; Computer Assisted Manufacturing.

#### 4.4.7. Desde un aprendizaje e I+D simple, a un aprendizaje e I+D complejo

Los estudios de caso históricos representan las exportaciones totales (abscisa vertical) de la electrónica para cada país, como se muestra en la Figura 4-2. Las exportaciones representan el despegue de la industria de la electrónica a partir del aumento de salarios y otros costos como resultado de cuellos de botella, escasez y limitaciones en la capacidad de I+D. La abscisa horizontal representa la acumulación de las capacidades tecnológicas a través del tiempo. Las firmas en cuestión iniciaron con actividades sencillas como el ensamblaje de chips, para luego dirigir paso a paso sus tareas de lo simple a lo complejo, como la adaptación de procesos, para finalmente realizar I+D.

Por el lado de la comercialización, los casos reflejan la transición desde OEM, para luego pasar a ODM y posteriormente a OBM. Desde este punto de vista, el aprendizaje es desarrollado desde las tareas más simples hasta las tareas más complejas. Esto confirma cómo se puede representar el supuesto del aprendizaje a través de la acumulación en las capacidades (Dahlman & Westphal, 1982; Dahlman, Ross-Larson, & Westphal, 1985; 1987). Del mismo modo, las firmas en estudio adoptan un factor de aprendizaje que incide en la velocidad con la que se puedan acumular las capacidades de innovación de las diferentes firmas, pasando de su nivel más básico al más

avanzado en un periodo de tiempo determinado (ver Figura 4-2), periodo que es corroborado en el modelo, luego del análisis estadístico de las simulaciones realizadas. El comportamiento o progresión lineal de las capacidades, no tiene por qué ocurrir en el tiempo, por el contrario, el aprendizaje representa un comportamiento de curva en S como el descrito por Carlson (1961; 1973) y explicado en el numeral 2.3.6. Los estudios sugeridos por Hobday (1995; 1997) y Kim (1997; 1999) muestran una tendencia general de las firmas en estudio, a acumular capacidades desde sus rutinas y tareas más simples a la acumulación sistemática, generando una trayectoria dependiente como lo sugieren Freeman y Pérez (1988).

La curva en S de las firmas en estudio sugiere una tendencia en la trayectoria del aprendizaje, la cual fue la puesta en marcha de las capacidades, el despegue y crecimiento de las capacidades y, por último, la fase de maduración de las capacidades. La industria comenzó en los años 1950 y 1960, cuando las empresas transnacionales y las empresas locales ingresaron para sacar provecho de las nuevas oportunidades de innovación. Como algunas tuvieron éxito, las firmas persiguieron una forma de aglomeración *schumpeteriana*, dando lugar a una fuerza durante los años 70 y 80 en el sector de la electrónica. Con el tiempo, el crecimiento se desaceleró en algunos segmentos grandes del mercado (por ejemplo, la electrónica de consumo) lo que

llevó a una maduración del sector y el aumento en los salarios, que derivó en que el mercado local comenzara a absorber una mayor proporción de la producción total, como lo manifestaron los SRI localizados de Corea del Sur y Taiwán.

El comportamiento anterior se puede observar de forma estilizada en el modelo, pues el aprendizaje a través de la acumulación de las capacidades persigue una trayectoria que depende del factor de aprendizaje adoptado por el sistema. Dicho factor representa la velocidad con la que acumulan las capacidades de los agentes del sistema. Además, se ratifica lo mencionado en el numeral 2.3.5 acerca de la relación del contexto del factor de aprendizaje con situaciones que lo promueven o restringen (Lund, 2004). Por otra parte, las empresas superaron el aumento de sus costos mediante la reubicación de la producción en SRI de otros países como, por ejemplo, los SRI de China y Tailandia que adoptaron políticas de incentivos tributarios, concentrando su mayor producción de tecnología en casa (*in house*). Esto último demuestra que los costos de mantener las capacidades es un factor primordial a la hora de reconocer un SRI.

El aprendizaje *doing-interacting* puede generar patrones de aprendizaje como la especialización de las capacidades de innovación, que conllevan a comportamientos emergentes que dependen de un factor de aprendizaje adoptado por el sistema. Así

mismo, el desempeño económico e innovador del sistema puede verse influenciado por dicho factor en la velocidad de acumulación en las capacidades de los agentes.

#### 4.4.8. Implicaciones para los modelos de innovación tradicionales

La frontera tecnológica (abscisa vertical derecha) es definida como la máxima posición o nivel requerido de I+D para generar nuevas innovaciones de producto o proceso (ver Figura 4-2). Dicha frontera es móvil y es ocupada por las empresas líderes en un momento determinado. A través del tiempo, las *latecomers firms* buscan estrechar gradualmente la brecha tecnológica con los líderes, planteando estrategias de innovación en algunos casos defensiva y en otros oportunista (Freeman & Soete, 1997). Por la década de 1990 algunas *latecomers firms*, alcanzaron la frontera tecnológica en por lo menos algunas líneas de productos, obligando a una inversión sustancial en I+D y así poder competir con los líderes internacionales.

Es de anotar que en la frontera tecnológica, los modelos de innovación comienzan a tener sentido, convirtiendo la I+D en una parte primordial y central del proceso de innovación con miras a seguir la dinámica de líder innovador. El comportamiento anterior confirma cómo los agentes de un SRI logran construir a través de las capacidades innovación competencias de alto nivel vía *doing-interacting*, para ser más compe-

titivos no solo a nivel regional sino también a nivel internacional. El comportamiento anterior conlleva, con el tiempo, a adoptar patrones de especialización de las capacidades, patrones que bien pueden ser de explotación, exploración o ambos, y que producen comportamientos emergentes haciendo que las firmas se especialicen.

Para las *latecomers firms* la clave de la competitividad va en contra de las teorías y modelos de innovación quienes enfatizan que la I+D es quien da inicio al proceso de innovación. La I+D se produce generalmente en las últimas etapas de un camino de aprendizaje (Gilsing & Nooteboom, 2006; Lundvall B.-A., 2007) que inicia con tareas simples tales como poner a punto la mano de obra para el ensamblaje de los productos establecidos (Lund, 2004), el comportamiento en mención refuerza el supuesto la segunda regla de decisión.

Aunque la I+D puede no ser central para las empresas recién llegadas, la innovación es esencial para poner la producción al día. La innovación de las *latecomer firms* se centra en los esfuerzos de ingeniería para mejorar los procesos de producción y reducir los costos de fabricación (al menos en las etapas iniciales). Luego se produce la innovación y las empresas aprenden a hacer cambios incrementales en los diseños de productos y, eventualmente, introducen nuevos diseños propios interactuando con otros agentes que complementen sus capacidades de producción.

La innovación incremental es probablemente una condición necesaria para reducir la brecha tecnológica entre los líderes del mercado y las *latecomers firms*. Ante la falta de acumulación de las capacidades y un aprendizaje relativamente rápido, las firmas tienden a sostenerse en lugar de alcanzar rápidamente la frontera tecnológica, desencadenando beneficios proporcionados por las oportunidades de innovación de los mercados de exportación de rápido crecimiento, todo ello a través de la interacción entre firmas localizadas que complementan sus conocimientos y sus capacidades.

El comportamiento anterior se explica por el tamaño reducido de los mercados locales, que obliga a las empresas a exportar. Inicialmente, las empresas compiten entre sí por los pedidos de exportación a través de los costos y velocidades de entrega. Con el tiempo, compiten con calidad, fiabilidad y capacidad de diseño propio. La competencia local e imitación e interacción entre los agentes del sistema, generan mejoras en los procesos continuos y el replanteamiento de las estrategias comerciales y tecnológicas.

No todas las empresas necesitan innovar y llegar a la frontera tecnológica. Las nuevas empresas, con nuevas creaciones, pueden saltar a niveles avanzados en algunas posiciones de su vector de capacidades sin pasar por las primeras etapas (como lo hicieron MTI y ACER en el SRI de Taiwán)

de capacidades básicas. Este supuesto se corrobora por el modelo en la aleatoriedad de los vectores, según el cual las firmas pueden estar dotadas desde un inicio de capacidades intermedias en alguna posición de su vector.

A medida que la capacidad de absorción (Cohen & Levinthal, 1989) aumenta, la nueva puesta en marcha puede pasar por alto las fases anteriores. No existe un proceso automático por el cual se produzca la acumulación de las capacidades tecnológicas (Hobday, 1997). Por el contrario, las empresas aprenden a innovar y a realizar inversiones en tecnología por sus propios esfuerzos. Se necesitan esfuerzos de aprendizaje con propósito de asimilar tecnología extranjera, construir nuevas competencias y ponerse al día con los líderes del mercado. Todo esto se logra aprendiendo interactivamente con los agentes del sistema, incluyendo las oportunidades de innovación que genera el entorno competitivo.

El proceso de producción y la tecnología de productos están estrechamente vinculados a la retroalimentación que se produce durante el proceso de puesta en marcha. Mejorar el proceso de producción a menudo requiere del conocimiento de diseño de producto. Del mismo modo, las mejoras en el diseño y la confiabilidad del producto pueden requerir capacidades y habilidades en los procesos de producción. Durante la década de 1980 la capacidad para especi-

ficar con precisión el diseño de productos que permitiera eficiencia en la fabricación (diseño para fabricación) se convirtió en un factor clave y competitivo en el sector de la electrónica.

#### 4.4.9. Relaciones entre el aprendizaje y el mercado de exportación

Los casos de estudio señalan que el aprendizaje se produce no solo en el ámbito tecnológico sino también en el nivel comercial o de mercadeo. Las empresas aprenden a empaquetar, distribuir y comercializar sus productos. Algunos establecen los departamentos de marketing *in house* y luego los establecen otros SRI de países avanzados. Los conocimientos de marketing le permiten a las empresas diversificar su base de clientes y aumentar sus oportunidades de crecimiento y, al igual que la tecnología, implica importantes inversiones en las competencias de la organización. En otras palabras, los agentes aprenden del entorno competitivo y de los beneficios de las oportunidades de innovación, como se supone en el modelo.

En última instancia, las *latecomers* avanzadas establecen sus propias marcas en el extranjero, pudiendo anunciar directamente a sus clientes y aumentando sus capacidades de mercadeo. No siempre existían vínculos sistemáticos, causales entre las etapas de la tecnología y el desarrollo del mercado. Fue teóricamente posible para una firma adquirir capacida-

des avanzadas, en lugar de permanecer en las básicas del marketing o viceversa. Es probable, sin embargo, que las *latecomers firms* intentarán mejorar tanto sus capacidades tecnológicas y de marketing de manera simultánea con el fin de aumentar los beneficios y participación en el mercado. En otros casos puede haber conexiones concretas entre el mercado y la tecnología, comportamiento que se representa en el modelo a través de las reglas de decisión que se dan de derecha a izquierda en el vector de las capacidades de los agentes competidores.

Con el fin de aumentar las ventas y, por ende, las capacidades de mercadeo y producción para sus principales clientes, fue necesario el trabajo de ingeniería conjunta, como se muestra en los casos de estudio. Más tarde, para llevar nuevos productos al mercado, las empresas necesitaron realizar inversiones a largo pla-

zo en I+D. En resumen, las exportaciones jalonaron la tecnología de las *latecomers firms*, lo que les permitió superar la falta de vínculos e interacciones con sus usuarios de producto que solo podían tener los líderes y seguidores. A través de *OEM* y otros canales, la demanda de exportación actuó como un dispositivo de enfoque para que el factor de aprendizaje tuviera un ritmo en el progreso, dicho ritmo o velocidad es suplido en el modelo con el factor de aprendizaje. Por último, la competencia local en las regiones mencionadas estimuló la innovación, los exportadores exitosos son imitados más que todo por las *latecomers firms*, produciéndose poco a poco la evolución del sistema de innovación regional y su producción económica, evolución que suscitó a partir de la interacción entre agentes heterogéneos locales e internacionales, la especialización del sistema.

## 5. El aprendizaje en los SRI mediante el análisis de escenarios

### 5.1. Introducción

Este capítulo presenta los resultados de las simulaciones de tres escenarios elegidos, con el objetivo de compararlos y poder hacer así un análisis acerca del aprendizaje en un *SRI*. Las simulaciones se realizan en el programa NetLogo 5.1.0 y pueden ser consideradas como una exploración y abstracción del fenómeno virtual simplificado (Resnick, 2001) para manipularlo. Por tal razón, se puede decir que es una exploración del fenómeno en un micromundo virtual.

Para tal fin, el presente capítulo está distribuido así: en el apartado 5.2 se describen los tres escenarios elegidos para realizar el análisis del aprendizaje en un *SRI*. Luego, en el apartado 5.3, se realiza un análisis comparativo de los resultados obtenidos en los diferentes escenarios y su respectivo análisis estadístico, con el objetivo de establecer la existencia de diferencias significativas en las simulaciones. El apartado 5.4 presenta un análisis comparativo de

los escenarios acerca del aprendizaje en los SRI, así como los patrones en la acumulación de las capacidades y su relación con el desempeño del sistema. Por último, el apartado 5.5 presenta tres escenarios o grupos de política, con el fin de analizar el mejor desempeño económico e innovador del sistema.

## 5.2. Escenarios

Los escenarios son historias plausibles con coherencia acerca del futuro y son útiles si pretenden abordar inquietudes por parte de los *policy makers*. Los escenarios permiten conocer de antemano el impacto que puede causar uno o varios sucesos, es decir, prever con anticipación lo que ocurrirá si se presentan cada uno de los sucesos previstos. La variación sistemática de parámetros inciertos o desconocidos en el modelo, crea un número de trayectorias y, algunas de estas, son seleccionadas como escenarios para caracterizar diferentes futuros posibles. Se han definido diferentes trayectorias en el contexto de las variables así: variación en los factores o tasas de aprendizaje y desaprendizaje, variación en las tasas de nacimientos de nuevos agentes y oportunidades de innovación con volatilidades aleatorias.

El modelo de simulación contiene una serie de parámetros relevantes para los escenarios, dichos escenarios describen el desempeño económico e innovador de un SRI a partir de las dinámicas del aprendizaje interactivo. Además, dichas dinámicas

emergen a través de la acumulación o no de las capacidades de los agentes del sistema. Los escenarios y sus simulaciones, además de referir un marco base para el desarrollo de posibles nuevas teorías y conceptos, han permitido definir tres escenarios más como medio para la evaluación de políticas las cuales se presentan en el apartado 5.5.

A continuación se presentan los escenarios planteados: (ver Figura 5-1).

- **Escenario 1, SRI Atractivo.** Este escenario representa un SRI con potencial competitivo en el cual los agentes del sistema aprenden interactivamente (Lundvall, 1992; Lundvall & Johnson, 1994), es decir, se mantienen las tendencias históricas para cada uno de los parámetros seleccionados del modelo calibrado. Este escenario representa un SRI que favorece el aprendizaje del tipo *doing-interacting* así como la acumulación de las capacidades de innovación. Sin embargo, los factores de aprendizaje y desaprendizaje adquiridos por el sistema son iguales, relacionando dicho comportamiento con las rutinas que se han adquirido por experiencia previa (Nelson & Winter, 1982).

Desaprender viejas prácticas permite aprender nuevas formas de hacer las cosas, más aún si es a través de la interacción, lo que implica no solo la creación de nuevas capacidades y conocimientos sino

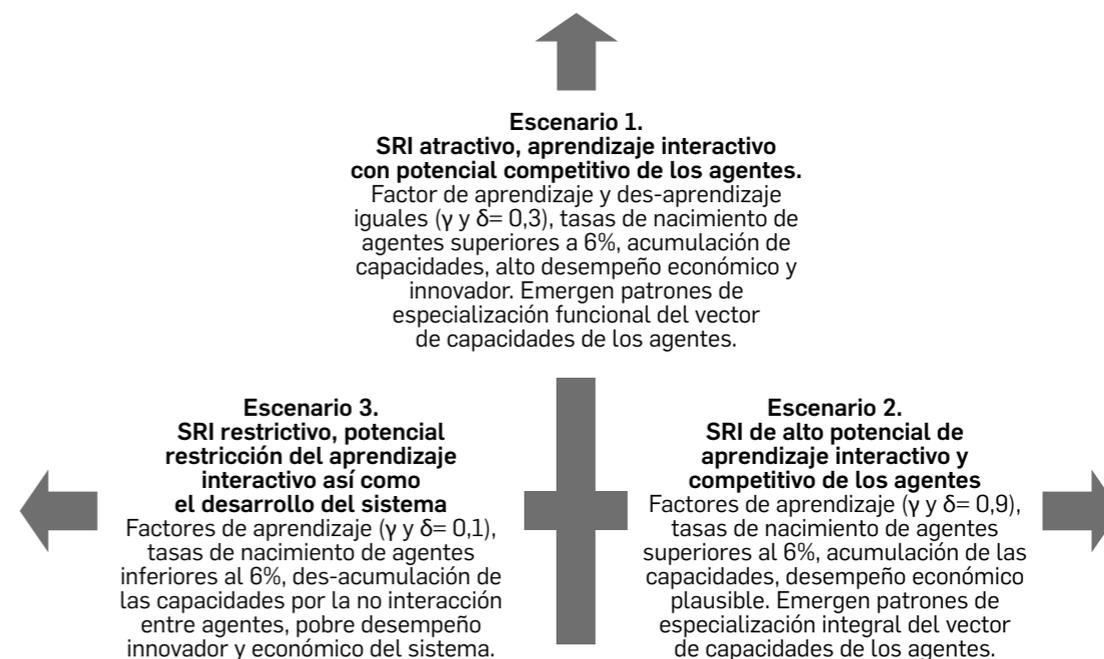


Figura 5-1. Escenarios derivados de diferentes combinaciones de parámetros

también la eliminación de los ya existentes, sobre todo cuando el nuevo conocimiento choca de manera significativa con lo existente (Martin de Holan & Phillips, 2004). Los valores del factor de aprendizaje y desaprendizaje adquieren valores de  $\gamma$  y  $\alpha = 0,3$ , lo que significa que la acumulación de las capacidades exponen periodos más prolongados en el tiempo para su acumulación, como los estudios históricos descritos de las denominadas *latecomer firms* (Hobday, 1995; 1997; Kim, 1997) en el capítulo de validación.

- **Escenario 2, SRI de alto potencial.** Este escenario se caracteriza por una serie de parámetros que favorecen el aprendizaje interactivo y la velocidad con que se acumulan las capacidades, los factores de aprendizaje y desaprendizaje adquiridos representan los valores máximos de aprendizaje que puede adoptar el sistema (0,9), además este escenario presenta un marco potencial para el desarrollo de un SRI como lo sugiere Carlsson et al., (2002) y Lundvall (2004), con un alto desempeño económico e innovador, a partir de las variables de número de agentes que sobreviven la densidad (Fritsch & Slavtchev, 2011) y el stock de excedentes del sistema.

- Escenario 3, SRI restrictivo.** En este escenario son evaluados los parámetros que desfavorecen el aprendizaje interactivo y la desacumulación en las capacidades de los agentes del sistema. Los factores de aprendizaje y desaprendizaje representan el valor mínimo que puede adoptar el sistema (0,1), favoreciendo las barreras de interacción y el aprendizaje colectivo (Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006; Fritsch & Slavtchev, 2007; Ponsiglione, Quinto, & Zollo, 2014). El comportamiento anterior restringe el desarrollo de un SRI y sus funciones, tal como lo sugieren Carlsson et al., (2002) y Lundvall (2004).

El desempeño económico e innovador, así como las dinámicas de aprendizaje, se ven afectadas por las barreras de entrada en la asimilación y acumulación de las capacidades, particularmente, en las capacidades de producción y de I+D, lo que proporciona una restricción del aprendizaje del tipo *doing-interacting*. Este escenario es restrictivo al desarrollo de un SRI y se considera un escenario problema, dado que el SRI desaprende como consecuencia de la no interacción entre agentes y posterior desacumulación en las capacidades de innovación, lo que implica la no creación de nuevas capacidades y conocimientos y la eliminación de los conocimientos ya existentes (Martin de Holan & Phillips, 2004).

Para la construcción de los escenarios se seleccionó el parámetro del factor de aprendizaje fundamentado en los estudios históricos de las denominadas *latecomer firms* en el oriente asiático (Hobday, 1995;1997; Kim,1997), que señala una perspectiva en la construcción y la acumulación de las capacidades tecnológicas, demostrando cómo dichas firmas vincularon su aprendizaje tecnológico a los mercados de exportación y aprendieron a innovar en el sector de la electrónica (Nelson, 1993; Hobday, 1995; 1997; Kim, 1997; 1999; Lundvall, Intarakumnerd, & Vang, 2006). A continuación se presentan los parámetros utilizados para las simulaciones y el análisis de los tres escenarios propuestos (ver Tabla 5-1).

### 5.2.1. Escenario 1: SRI atractivo, aprendizaje interactivo con potencial competitivo

El escenario uno representa un SRI con comportamientos y dinámicas de aprendizaje interactivo del tipo *doing-interacting* (Lundvall, 1992; 2006; 2007). El factor de aprendizaje adoptado por el sistema para integrar, construir y reconfigurar bienes y servicios en entornos que cambian rápidamente (Teece, Pisano, & Shuen, 1997), puede propiciar o restringir (Lund, 2004) la velocidad en la acumulación en las capacidades de innovación (Dodgson, 1993; Kim, 1997; Hobday M., 1997; Lundvall B.-A., 2004; 2007; Lund, 2004;

Helfat, et al., 2007) de los agentes que componen el sistema. Tal comportamiento genera la adopción de prácticas o rutinas organizacionales (Teece et al., 1997) como un patrón de acumulación de las capacidades gracias al aprendizaje colectivo entre los agentes del sistema (Cyert & March, 1999).

Tabla 5-1. Valores de los parámetros para los tres escenarios

Variables	Escenario 1 Atractivo	Escenario 2 Alto Potencial	Escenario 3 Restricción
Longitud de cadena	$l=5$	$l=5$	$l=5$
Magnitudes iniciales	Aleatorias entre: 0 - 9	Aleatorias entre: 0 - 9	Aleatorias entre: 0 - 9
Número inicial de agentes	$A_{js} = 20; 0.1 = 40$	$A_{js} = 20; 0.1 = 40$	$A_{js} = 20; 0.1 = 40$
Tasas de nacimientos de los agentes	$A_{js} = 10\%; 0.1 = 18\%$	$A_{js} = 10\%; 0.1 = 18\%$	$A_{js} = 6\%; 0.1 = 10\%$
Factores de aprendizaje y des-aprendizaje ( $\gamma-\delta$ )	$\gamma$ y $\delta = 0,3$	$\gamma= 0,9$ y $\delta = 0,3$	$\gamma$ y $\delta = 0,1$
Ciclo de vida de las oportunidades de innovación ( $t_{ic}$ )	Aleatorio entre: 0 - 15 años	Aleatorio entre: 0 - 15 años	Aleatorio entre: 0 - 15 años
Ingreso por Atributo (AIk)	5 unidades (monetarias)	5 unidades (monetarias)	5 unidades (monetarias)
Costo por Capacidad (CCK)	1 unidad (monetarias)	1 unidad (monetarias)	1 unidad (monetarias)
Stock de excedentes inicial (SS)	225 unidades (monetaria)	225 unidades (monetaria)	225 unidades (monetaria)
Volatilidad máxima de las O.I (v)	Aleatorio entre: 0 - 5 años	Aleatorio entre: 0 - 5 años	Aleatorio entre: 0 - 5 años

Fuente: Elaboración propia a partir de los experimentos realizados del modelo conceptual.

Lo anterior significa que un gran número de agentes aprenden interactivamente con otros, respondiendo de manera exitosa a las oportunidades de innovación generadas por el entorno. En este escenario, la velocidad con la que se acumulan las capacidades no es la más significativa. Sin embargo, el desempeño innovador observado en la densidad de las redes entre agentes (Fritsch & Slavtchev, 2011) heterogéneos que interactúan y responden satisfactoriamente al entorno, permite el siguiente análisis: a medida que nazcan y sobrevivan más agentes heterogéneos, como lo sugiere Holland (2005), mayor será la probabilidad de responder satisfactoriamente a la demanda del entorno, lo que proporciona mayores vínculos y mayor aprendizaje del tipo *doing-interacting* (Lundvall, 1992). Dicho aprendizaje puede verse reflejado en un mejor desempeño innovador del sistema como lo manifiesta Fritsch y Slavtchev (2011).

El comportamiento descrito señala un gran número de vínculos y proporciona una mayor posibilidad en la construcción de fórmulas de éxito por parte de los agentes que interactúan en el sistema, lo que significa un mayor aprendizaje interactivo. Esto representa mayores beneficios económicos para los agentes y el sistema y, además, el conjunto de patrones que emergen en este escenario “adopción de un factor de aprendizaje y desaprendizaje intermedio” pueden ser observados a través de la velocidad con la que se acumulan

las capacidades de innovación a partir de la interacción entre agentes. En este escenario, se presencia un comportamiento que converge en la división y repartición del trabajo, lo cual es producto de la especialización funcional del vector de capacidades de aquellos agentes que interactúan y complementan sus capacidades con el objetivo de responder satisfactoriamente al entorno competitivo a través de la construcción de fórmulas de éxito. Los patrones más relevantes con que se acumularon las capacidades fueron un patrón de la capacidad de mercadeo y un patrón en la capacidad de investigación. Sin embargo, el comportamiento en las otras capacidades (capacidad de producción, intermediación y desarrollo), fue muy significativo.

La especialización funcional puede convertirse en un motor de la fuerza de trabajo regional que demanda ciertas habilidades específicas el entorno competitivo; de igual forma, es muy similar a la especialización que ocurre en otros sistemas de innovación localizados como los distritos industriales. Sin embargo, la diferencia estriba en que la especialización funcional de los SRI no se da solo en un eslabón de la cadena productiva (capacidad de producción) como lo describen los distritos industriales (Albino, Carbonara, & Schiuma, 2000; Albino, Carbonara, & Giannoccaro, 2006). Se distingue, entonces, por una especialización del vector de las capacidades de los agentes en sus diferentes funciones asociadas a la generación, difusión y uso (Carlsson et al.,

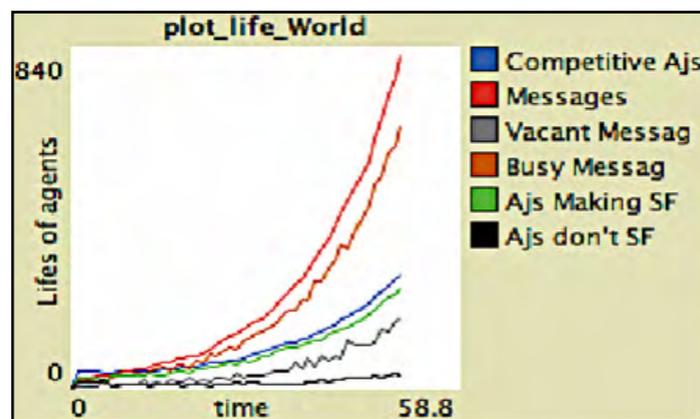
2002), las cuales son necesarias para que exista un sistema de innovación a partir de la interacción entre agentes.

La especialización funcional resulta ser, entonces, un estímulo de la fuerza de trabajo regional que demanda capacidades específicas que pueden ser utilizadas por los diferentes agentes de la región y no por los de un sector en particular como lo sugiere Marshall (1919) y Ellison y Glaeser (1999). Dicho estímulo implica la adquisición de capacidades de *I+D*, producto de investigaciones externas que pueden ser complementadas por otros agentes, lo que se traduce en un esfuerzo conjunto de los agentes asociados a las fórmulas de éxito para desarrollar conocimiento valioso.

Lo anterior se puede traducir en la tercerización o externalización de la *I+D* como una estrategia que proporciona una reducción en los costos y permite a los agentes comprar resultados de *I+D* sin que sus clientes participen sustancialmente en las actividades de innovación (Grimpe & Kaiser, 2010). En este contexto, la subcontratación de *I+D* permite a las empresas concentrarse en las actividades estratégicas de la *I+D* interna y externalizar de forma periférica tareas de la *I+D* a los proveedores externos especializados (Quinn, 1999; 2000; Grimpe & Kaiser, 2010), a través de contratos formales como la externalización de la *I+D* y el desarrollo de innovación de manera conjunta (para más detalles ver Bzhalava, 2015). El desempeño económico, tanto para los agentes como para el

sistema, se orientó a las observaciones de las variables respuesta: stock de excedentes promedio y acumulado, y número de agentes que sobreviven en el sistema. Los experimentos realizados tienen por objetivo comprender las dinámicas de aprendizaje interactivo así como determinar si el pasado y la pérdida de las capacidades han sido significativos o no para los agentes. Esto último relaciona el comportamiento de los agentes con las rutinas que se han adquirido por la experiencia previa (Nelson & Winter, 1982) y el aprendizaje por la práctica (Lundvall B.-A., 1992; 2004). A continuación se presentan las simulaciones realizadas para el escenario 1.

En la Figura 5-2 (ver página siguiente) se puede apreciar el comportamiento creciente de las variables: número de agentes competidores del sistema (curva azul) y de agentes que construyen fórmulas de éxito (curva verde) finalizadas 50 *ticks* o simulaciones. Dichas variables determinan el desempeño innovador del sistema. El número de agentes que interactúan (248) con relación al número de agentes (281) que conforman el SRI, es muy significativo y dicente, lo que significa que los agentes responden satisfactoriamente a un número de oportunidades de innovación relevantes que demanda el entorno competitivo. Del mismo modo, se observa un comportamiento creciente con relación a las oportunidades de innovación que intentan ser suplidas (curva naranja). Este comportamiento ayuda y proporciona un mejor entendimiento no solo acerca de las



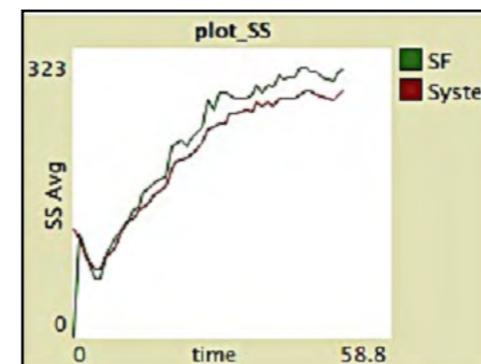
Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-2. Número de agentes en el sistema

dinámicas de aprendizaje interactivo de un SRI sino también del desempeño innovador del sistema. Para este experimento, los factores de aprendizaje y desaprendizaje fueron:  $\gamma$  y  $\delta = 0,3$  respectivamente, lo que significa que la velocidad con la que se acumulan las capacidades de los agentes que interactúan en el sistema en el tiempo no es tan rápida ni tan lenta, más bien señala un factor intermedio de aprendizaje.

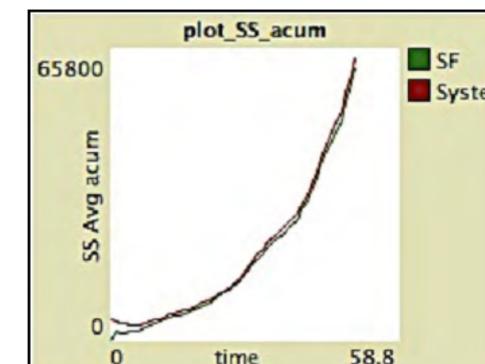
El desempeño económico de los agentes competidores se observó a través del stock de excedentes, la Figura 5-3 y Figura 5-4, señalan comportamientos crecientes en el promedio y el acumulado en el stock de excedentes de aquellos agentes que interactúan y construyen fórmulas de éxito (curva verde). Lo anterior denota que los agentes competidores responden a las oportunidades de innovación demandadas por el entorno competitivo, indicando que aquellos agentes que construyen fórmulas de éxito interactúan con los usuarios y productores (Lundvall, 1985), imbricándose en dinámicas de innovación y de aprendizaje interactivo (Lundvall & Johnson, 1994; Lundvall B.-A., 2004; 1992).

Un mayor stock de excedentes señala un mejor uso de los recursos. Ahora bien, si desde la perspectiva de la firma los recursos son comprendidos como todo tipo de activos, tangibles e intangibles, tanto físicos, como intelectuales y culturales, a los que una empresa tiene acceso para lograr sus objetivos corporativos (Grant, 1991; 1996), entonces, el despliegue de dichos recursos por parte de los agentes competidores para generar ventajas competitivas, se realizará a través de las capacidades de innovación (Hafeez, Zhang, & Malak, 2002).



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-3. Stock de excedentes promedio



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

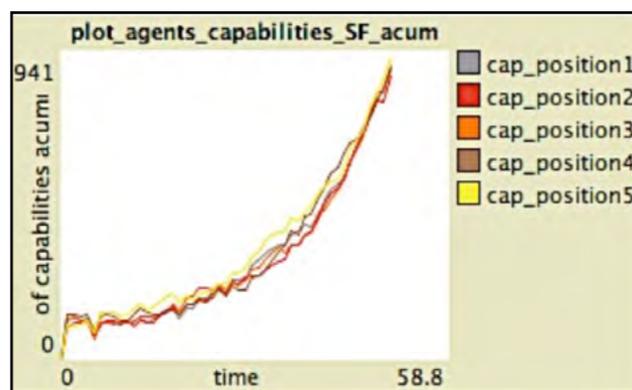
Figura 5-4. Stock de excedentes acumulado

Un aumento en las magnitudes de las capacidades de los agentes demostraría que los agentes hacen uso de sus recursos con el fin de realizar alguna tarea o actividad. En caso contrario, si presentan un menor stock de excedentes, será por causa de un uso insuficiente de los recursos debido a la incapacidad del agente para acumular sus capacidades y responder a través de la interacción o por sus propios medios a oportunidades de innovación demandadas por el entorno competitivo. Un stock de excedentes alto proporciona una mayor posibilidad de subsistencia en el tiempo para cualquier agente, e indica que el agente utiliza sus capacidades proporcionando una mayor probabilidad a los agentes de imbricarse en las dinámicas de innovación y aprendizaje interactivo en el sistema.

Las dinámicas del aprendizaje interactivo para este escenario señalan trayectorias dependientes en la acumulación de las capacidades de innovación (ver Figura 5-5, página siguiente) (Dodgson, 1993; Lundvall, 2004; 2007; Lund, 2004; Helfat, et al., 2007) como lo subrayan los estudios de Hobday, (1997); Kim, (1997); Lundvall, Intarakumnerd y Vang, (2006). Conocer y comprender cómo y con qué velocidad se pueden acumular las capacidades contribuye a un mejor entendimiento y a una mayor comprensión del aprendizaje interactivo explicado por Lundvall (1992). Así mismo, ayuda a analizar y comprender mejor el desempeño económico (curva roja) de los agentes y de un SRI (ver Figura 5-3 y Figura 5-4).

Los factores de aprendizaje y desaprendizaje juegan un rol primordial a la hora de acumular o desacumular las capacidades. Según Lund (2004), el factor de aprendizaje que adopte el sistema depende de las situaciones y acciones encaminadas a promover o restringir el aprendizaje. Es así como, a través de las simulaciones, se evidencia un incremento en la

interacción entre agentes competitivos (curva azul) (ver Figura 5-2) y la acumulación de las capacidades (curvas: gris, roja, naranja, café y amarilla) (ver Figura 5-5). Dicho comportamiento significa que los agentes interactúan y complementan sus capacidades a través de importantes mecanismos de interacción, como lo es, por ejemplo, la estrategia de subcontratación o tercerización de aquellas capacidades que no se han adquirido o se encuentran en niveles muy bajos, como lo sugiere Hobday (1995) en su estudio acerca de las *latecomers firms*. De igual forma, Bzhalava (2015) ratifica que la subcontratación permite a las empresas tercerizar en actividades de I+D en las que no poseen experiencia o capacidades altas, logrando que la empresa se concentre en aquellas actividades que pueden realizar mejor. Dicha división de tareas entre las empresas del sistema, pueden ayudar a las empresas a dedicar sus recursos financieros y humanos para sus actividades clave de la investigación y, como resultado, una mejora de la eficiencia y de la eficacia de sus actividades de invención (Bzhalava, 2015, p. 85)



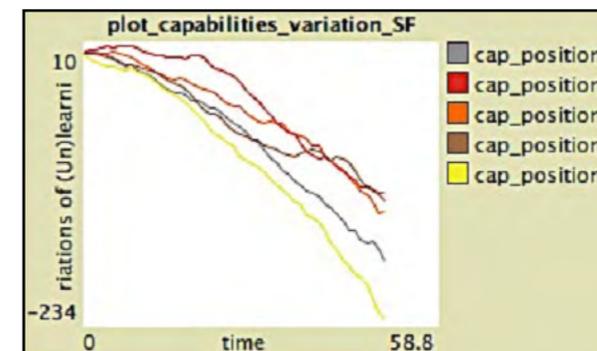
Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-5. Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF

El comportamiento anterior convierte al sistema en una escuela de formación para las empresas existentes y nuevas, propiciando una fuerte división del trabajo y permitiendo superar barreras de entrada en la asimilación de las capacidades de innovación (capacidades de mercadeo, producción y de I+D) en estos sistemas, con el objetivo de proporcionar un aprendizaje interactivo que ayuda a eliminar barreras que limitan la interacción entre agentes y su entorno Hobday (1997). La externalización de la I+D le permite a los agentes competidores del sistema, adquirir insumos de conocimiento de alta calidad a través de la interacción con otros agentes especializados y compartir los costos y riesgos de proyec-

tos de I+D (Gilley & Rasheed, 2000) con el fin de responder satisfactoriamente al entorno competitivo. Por otra parte, la distribución de las tareas de I+D entre los diferentes agentes que construyen fórmulas de éxito permite que otros agentes puedan realizar actividades de I+D independientes y/o simultáneas, lo que resulta en un aumento de la velocidad de los procesos de I+D (Howells, James, & Malik, 2003; Ebrahim, Ahmed, & Taha, 2009) y la construcción y aceptación de las fórmulas de éxito en el SRI.

Las variaciones en las capacidades como resultado de las simulaciones del escenario en cuestión señalan un conjunto de patrones de especialización en las capacidades que adopta el sistema a través del aprendizaje interactivo. Dichos patrones denotan la velocidad con la que se acumulan las capacidades de innovación producto de la interacción entre agentes. Una variación negativa señala que los agentes que construyen fórmulas de éxito estarán acumulando sus capacidades periodo a periodo en una o a lo sumo dos posiciones y, como efecto contrario, desacumularán sus viejas prácticas en sus otras posiciones (ver Figura 5-6).



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-6. Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF.

El comportamiento anterior, representa el patrón de especialización en las capacidades a través del factor de aprendizaje adoptado por el sistema y los agentes que interactúan. El comportamiento en la variación de las capacidades del escenario 1 señala dos patrones de especialización importantes: las capacidades de mercadeo y las capacidades de investigación (curvas amarilla y gris sucesivamente), lo que determina patrones de explotación y exploración acumulados rápidamente por agentes del sistema. De igual forma, se puede observar que las otras posiciones también presentan variación (curvas: roja,

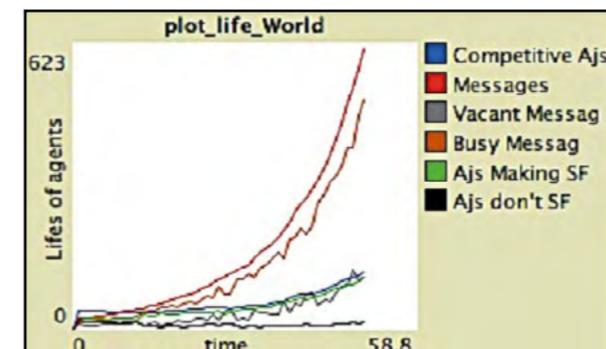
naranja y café), pero no con la velocidad de los patrones anteriormente mencionados. Sin embargo, estas posiciones también varían negativamente, lo que significa que los agentes acumulan capacidades y se especializan de manera funcional en algunas posiciones de su vector de capacidades que conlleva a una división y repartición del trabajo de manera interactiva para responder al entorno competitivo.

La especialización del vector de las capacidades de manera funcional proporciona un SRI heterogéneo con un desempeño económico e innovador creciente. Lo anterior constituye un sistema potencialmente competitivo como lo fue el caso del SRI de Taiwán (Hobday, 1997; Kim, 1997; Lundvall, Intarakumnerd y Vang, 2006). No obstante, aunque la externalización de las capacidades de *I+D* promete ventajas Hobday (1997), también tiene sus inconvenientes. En primer lugar, la distribución de las actividades de *I+D* entre los diferentes agentes externos pueden inducir a un agente a especializarse en lugar de desarrollar su propio conocimiento o su propia tecnología (West, Vanhaverbeke, & Chesbrough, 2006). En este contexto, los agentes que externalizan la *I+D* podrían cambiar sus capacidades de *I+D* y la creación de conocimiento nuevo o mejorado, cediéndole el lugar a otros agentes externos especializados (Bettis, Bradley, & Hamel, 1992; Gilley & Rasheed, 2000; West, Vanhaverbeke, & Chesbrough, 2006), agotando las competencias de investigación y deteriorando el

rendimiento de su propia capacidad de *I+D* (Bettis, Bradley, & Hamel, 1992) haciéndolo dependiente de la trayectoria de otras capacidades.

### 5.2.2. Escenario 2: SRI de alto potencial de aprendizaje interactivo y competencias

El escenario dos representa un SRI de alto potencial en las dinámicas de aprendizaje interactivo, al igual que el escenario 1. Sin embargo, el factor de aprendizaje y desaprendizaje adoptado por el sistema es el máximo posible, lo que propicia una mayor velocidad en la acumulación de las capacidades en el contexto del aprendizaje propuesto por Lund (2004) que promueve el aprendizaje. Lo anterior expresa un gran número de agentes que aprenden interactivamente, respondiendo de manera exitosa a las oportunidades de innovación generadas por el entorno competitivo. En este escenario, la velocidad con la que se acumulan las capacidades es la más alta posible adoptada por el sistema. El desempeño innovador observado de los agentes heterogéneos que interactúan y responden satisfactoriamente al entorno permitió el siguiente análisis: a pesar de vislumbrarse un gran número de agentes heterogéneos (por su vector), su crecimiento y supervivencia no son tan pronunciados como en el escenario anterior. La Figura 5-7 señala un buen desempeño innovador a través del número de agentes que construyen fórmulas de éxito. Sin embargo, su crecimiento es tenue y la cantidad de vínculos es me-



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-7. Número de agentes en el sistema

nor en el sistema, lo que representa un desempeño innovador tan significativo y valioso como el que presentó el escenario 1.

El comportamiento del escenario 2 presentó beneficios económicos significativamente menores al del escenario 1. Además, el conjunto de patrones que emergen en este escenario (SRI que adopta factores de aprendizaje máximos), no son la división y repartición del trabajo producto de la especialización funcional; por el contrario, menos agentes suplen oportunidades de innovación debido a que algunos agentes llegan rápidamente al máximo nivel (capacidades avanzadas) en todas sus posiciones del vector de capacidades. Si en el escenario 1 pocos agentes lograban llegar en una o dos posiciones de su vector de capacidades a niveles máximos (capacidades avanzadas), en este escenario, varios agentes logran el máximo nivel de sus capacidades avanzadas en todas sus posiciones. El comportamiento anterior indica una ubicación localizada y específica de estos agentes que son capaces de suplir a su alrededor la mayor cantidad de oportunidades de innovación. La consecuencia del comportamiento anterior converge en una muerte rápida de los nuevos agentes que nacen periodo a periodo, por la incapacidad de estos para competir con su vector, frente a otros agentes localizados que presentan ventajas competitivas superiores, producto de capacidades avanzadas adquiridas en todo su vector de capacidades.

Contrario al escenario 1, el escenario 2 señala un comportamiento en el cual se advierte una menor cantidad de agentes que acumulen rápidamente las capacidades en todas las posiciones, lo que significa una especialización de carácter integral en todo el vector de

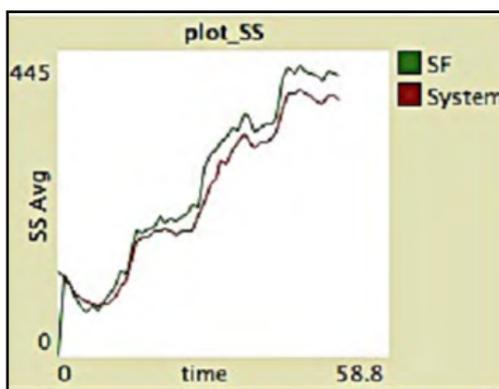
las capacidades de innovación. Es decir, su vector acumula rápidamente las capacidades, alcanzando el nivel avanzado en todas las posiciones asociadas a las funciones de generación, difusión y uso que debe presentar cualquier SI para su existencia a partir de la interacción entre agentes (Carlsson et al. 2002). Sin embargo, dicho comportamiento presenta consecuencias en el largo plazo, más propias de entornos con características monopólicas y oligopólicas en el SRI.

En la Figura 5-7 (ver página 161), se puede observar un comportamiento creciente en el número de agentes competidores y de los agentes que construyen fórmulas de éxito (curvas azul y verde). El número de agentes competidores al finalizar las simulaciones (50 ticks), demarca 122 agentes competidores (curva azul) y 106 que responden satisfactoriamente a la demanda a través de sus fórmulas de éxito (curva verde). Del mismo modo, se observa un comportamiento creciente con relación a las oportunidades de innovación que intentan ser suplidas (curva naranja). Este comportamiento ayuda y proporciona un mejor entendimiento no solo acerca de las dinámicas del aprendizaje interactivo en un SRI, sino también del desempeño innovador del sistema.

El desempeño económico de los agentes competidores fue observado a través del stock de excedentes; la Figura 5-8 y Figura 5-9 señalan comportamientos crecientes en el promedio y el acumulado en el stock de excedentes (curvas verde y roja), de los agentes que construyen fórmulas de éxito y del sistema. Lo anterior denota que los agentes competidores están respondiendo a las oportunidades de innovación demandadas por el entorno,

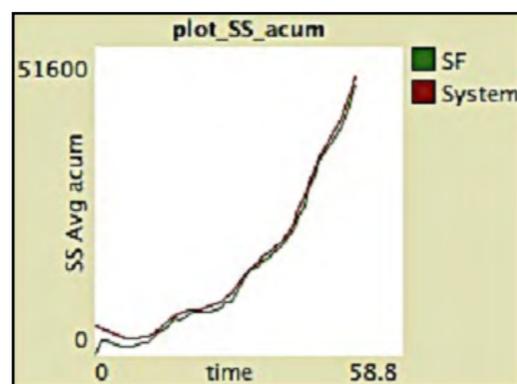
indicando que los que construyen fórmulas de éxito están imbricados en las dinámicas de innovación y aprendizaje a través de la interacción entre ellos.

Un mayor stock de excedentes representa un mejor uso de los recursos y viceversa; ahora bien, el desempeño económico puede verse afectado desde la perspectiva de los nuevos agentes que nacen en el sistema: si estos no se enganchan rápidamente en las dinámicas de innovación y aprendizaje interactivo, tendrán poca o nula probabilidad de construir fórmulas de éxito, usar y acumular sus capacidades y sobrevivir en el tiempo. El comportamiento anterior obedece a que los agentes que están implicados en las dinámicas innovadoras, presentan vectores con capacidades avanzadas en todas sus posiciones, lo que le adjudica una baja probabilidad de sobrevivencia en el tiempo a aquellos agentes nuevos y emprendedores (ver Figura 5-10).



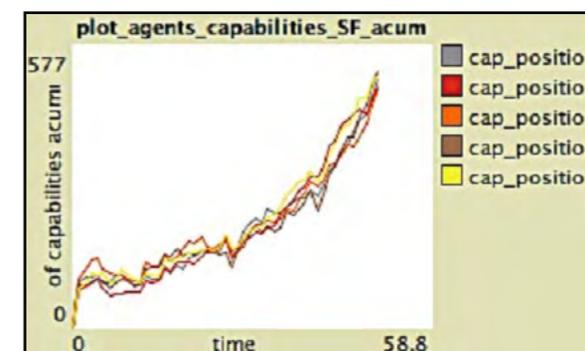
Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-8. Stock de excedentes promedio



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-9. Stock de excedentes acumulado



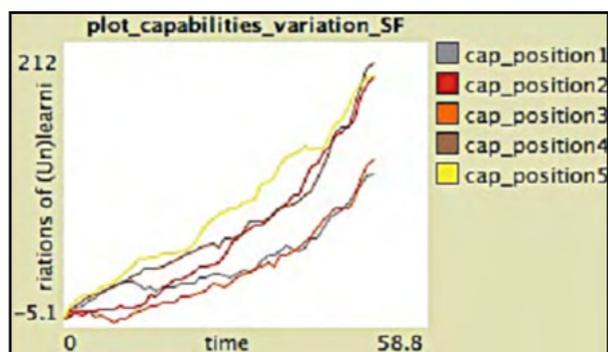
Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-10. Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF

Las dinámicas del aprendizaje interactivo, en este escenario, señalan trayectorias dependientes, como en el escenario 1, en la acumulación de las capacidades. Como se mencionó anteriormente, conocer y comprender cómo y con qué velocidad se pueden acumular las capacidades, contribuye a un mejor entendimiento y a una mayor comprensión del aprendizaje interactivo (Lundvall, 1992) en un SRI. Los factores de aprendizaje y desaprendizaje juegan un rol primordial a la hora de observar los patrones de especialización de las capacidades de innovación, los cuales dependen de situaciones y acciones encaminadas a promover o restringir el aprendizaje (Lund, 2004).

Algunas situaciones como las que se describieron anteriormente de los diferentes sistemas localizados en el oriente asiático (Hobday, 1997) representan un descenso en la interacción entre agentes del sistema, debido a aquellas capacidades de innovación avanzadas que puede llegar a adquirir un agente o firma como se presentó en las *latecomers* MTI y ACER en Taiwán (Hobday 1997). Tales firmas definieron nuevas estrategias dirigidas al diseño y desarrollo de nuevos productos, producción, marcas propias y promoción, como producto del proceso interactivo con otras firmas, deteniendo la subcontratación. Así mismo, algunas acciones fueron incentivadas por la política pública encaminada a evitar restringir el aprendizaje y propiciar el paso de algunas capacidades del nivel intermedio al nivel avanzado rápidamente como el caso MTI en Taiwán (Hobday, 1997), logrando así adquirir capacidades avanzadas, para convertirse en la única firma capaz de cubrir y responder al entorno competitivo local y otros sistemas de innovación internacional.

Las variaciones en las capacidades como resultado de las simulaciones del escenario en cuestión representan el conjunto de patrones de aprendizaje adoptado por el sistema. Una variación promedio positiva en las capacidades de innovación (ver Figura 5-11) significa que son pocos los agentes que responden de manera positiva a la demanda del entorno, observándose que aquellos agentes que construyen satisfactoriamente fórmulas de éxito, acumulan sus capacidades en todas las posiciones de su vector (curvas gris, roja, naranja, café y amarilla). El comportamiento anterior forja patrones de especialización en las capacidades rápidamente hacia la explotación (curvas amarilla y café) y luego hacia la exploración (curva roja). Esto denota un SRI en el cual sus agentes presentan capacidades



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-11. Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF

avanzadas de mercadeo (curva amarilla), capaces de captar señales del entorno o del mercado para identificar rápidamente las oportunidades de innovación, desarrollando y produciendo nuevos productos y servicios que demanda el entorno.

Por último, el escenario muestra cómo los agentes acumulan rápidamente sus capacidades en el tiempo, lo que no proporciona una necesidad de interacción y complementariedad en sus capacidades con otros agentes, lo que garantizaría la especialización del vector de capacidades de manera integral en todas sus posiciones, comportamiento que puede inhibir la interacción y el aprendizaje colectivo en la región con consecuencias catastróficas para los nuevos agentes naciendo emprendedores. Pasados 24 periodos o *ticks* en las simulaciones del escenario en cuestión, los agentes nuevos y emprendedores no superan el tercer año de vida en el sistema.

### 5.2.3. Escenario 3: Restringido: SRI que desaprende y restringe su potencial desarrollo

A diferencia de los escenarios anteriores, el escenario 3 presenta un SRI con dinámicas nulas de innovación y de aprendizaje interactivo. Tales dinámicas son producto de la no interacción de los agentes del sistema, así como de la incapacidad de estos para responder exitosamente a las oportunidades de innovación demandadas por el entorno competitivo. Tal comportamiento restringe no solo las di-

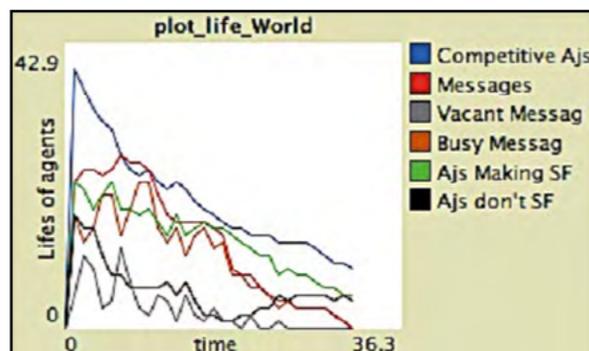
námicas de aprendizaje interactivo en un SRI, sino también el desempeño económico e innovador del sistema. En este escenario los agentes no solo desaprenden sus viejas prácticas, sino que no aprenden nuevas formas de hacer las cosas. En otras palabras, no crean nuevas capacidades y conocimientos sino que eliminan las pocas capacidades existentes (Martin de Holan & Phillips, 2004) impidiéndoles a los agentes del sistema la posibilidad de adaptarse a las nuevas exigencias del entorno competitivo (Hedberg, 1981).

Los factores de aprendizaje y desaprendizaje para este escenario fueron los más bajos que puede adquirir un sistema de innovación,  $\gamma = 0,1$  y  $\delta = 0,1$  respectivamente, siguiendo la lógica de los experimentos pasados cuyo fin fue comprender cómo emergen las dinámicas de aprendizaje interactivo y si el pasado fue importante para los agentes a partir de la acumulación o no de las capacidades. Se impuso una variación en las tasas de nacimiento de los agentes competidores (inferiores al 6%), con el fin de conocer el comportamiento de los agentes y el sistema. Dichas tasas de crecimiento (bajas) han sido reportadas por el Banco Mundial (Doing Business, 2013) para algunas economías latinoamericanas con dinámicas innovadoras muy por debajo del promedio de la región. Las tasas tuvieron por objetivo representar un sistema dinámico en todos los escenarios. Sin embargo, para el modelo, el sistema no exhibe la renovación mínima satisfactoria de agen-

tes competidores que respondan oportuna y satisfactoriamente a las demandas del entorno competitivo.

En este orden de ideas, las oportunidades de innovación abandonan rápidamente el SRI y buscan otros sistemas capaces de suplir dichas oportunidades de innovación. Como consecuencia del comportamiento anterior, se presenta la desaparición de los agentes competidores de tales dinámicas innovadoras en el sistema, producto de la no interacción y desacumulación de las capacidades de los agentes en el sistema. A continuación se presentan los resultados y el análisis del escenario en cuestión. Los experimentos tienen como objetivo primordial comprender cómo prevalecen las dinámicas de desaprendizaje y el no aprendizaje producto de la pérdida de las capacidades de los agentes competidores en un SRI.

El comportamiento de todo el SRI y particularmente de los agentes que intentan construir fórmulas de éxito (curva verde) es decreciente (ver Figura 5-12). Se observa una disminución en el número de agentes competidores y se finalizan las simulaciones con nueve agentes incapaces de interactuar y responder a las oportunidades de innovación que demanda del entorno competitivo. El comportamiento anterior indica cómo el agente entorno competitivo disminuye notoriamente las oportunidades de innovación (curva roja) debido a la incapacidad de los agentes competidores para suplirlos (curva naranja), lo que limita la posibilidad de adaptación de las nuevas exigencias del entorno en que compiten los agentes (Hedberg, 1981). Dicho de otra manera, las oportunidades de innova-



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-12. Número de agentes en el sistema

ción disminuyen a tal punto que el agente entorno competitivo no tiene la posibilidad de renovar significativamente las oportunidades de innovación. Lo anterior equivale a la desaparición o migración de las oportunidades de innovación a otros sistemas de innovación que sean capaces de suplirlas.

La desacumulación y pérdida de las capacidades es producto de la no interacción con el entorno competitivo y otros agentes del sistema, es decir, la incapacidad de leer el mercado en primera instancia es producto de los niveles bajos o casi nulos de sus capacidades y en particular de las capacidades de mercadeo, conduciendo así al desaprendizaje por la no interacción y posterior desacumulación de las capacidades producto del *not doing*. En ese caso, el pasado no es importante para los agentes, haciendo aún más difícil la interacción entre ellos y el entorno competitivo. En este escenario no se puede hablar entonces de agentes competidores; por el contrario, al finalizar las simulaciones, los agentes presentan vectores con niveles muy bajos o nulos en sus capacidades, lo que permite afirmar que dichos agentes no hacen un buen uso de sus recursos.

El desempeño económico observado a través del stock de excedentes (ver Figura 5-13) señala un comportamiento decreciente para los agentes y el sistema (curva verde y roja) a partir del *tick* 20. Esto indica que un número muy reducido de agentes intentan interactuar y construir

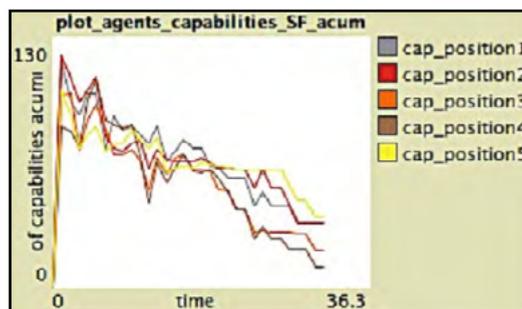


Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-13. Stock de excedentes acumulado

fórmulas de éxito no lo logran, entrando en periodos de desacumulación de sus capacidades, lo que implica en muchos casos desaparecer de toda dinámica innovadora y de aprendizaje interactivo. En la medida en que una gran cantidad de agentes desaparece, la probabilidad de los nuevos agentes nacientes disminuye, lo que tiene como consecuencia la incapacidad del sistema para imbricarse e imponer dinámicas innovadoras.

El escenario en cuestión refleja un desaprendizaje y, por ende, el bajo desempeño económico (curvas verde y roja) (Figura 5-13) e innovador del sistema (curvas verde, azul y naranja) (Figura 5-12), lo que indica la incapacidad de los agentes para engancharse en las dinámicas innovadoras y la posibilidad de acumular las capacidades (curvas gris, roja, naranja, café y amarilla) a través del aprendizaje interactivo (ver Figura 5-14, página siguiente).



Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-14. Acumulación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF

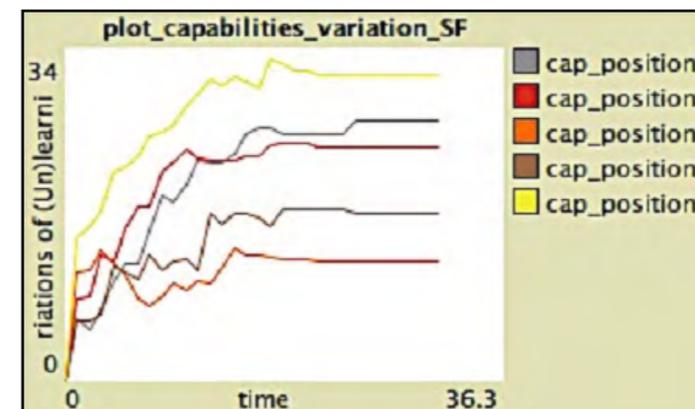
El número reducido de agentes incapaces de responder a las oportunidades de innovación (curva azul) como se muestra en la Figura 5-12 (ver página 166), indica la imposibilidad de aprender interactivamente; los agentes del sistema son incapaces de interactuar con las oportunidades de innovación generadas por el entorno competitivo y, como consecuencia de este comportamiento, el sistema involuciona haciendo a un lado la posibilidad y existencia de las funciones asociadas a la generación, difusión y uso, el cual debe presentar todo SRI para su existencia (Carlsson et al. 2002). Este comportamiento denota sistemas económicos con escasez de recursos y bajas o nulas capacidades de innovación. En algunos casos, los recursos existen en estos sistemas; sin embargo, las capacidades brillan por su ausencia y aún más las competencias de la región que no son aptas para entrar en dinámicas innovadoras.

Las variaciones en las capacidades como resultado de las simulaciones del escenario en cuestión, no representan ningún tipo de patrones de aprendizaje adoptados por el sistema. Una variación promedio positiva en las capacidades de innovación (curvas gris, roja, naranja, café y amarilla) (ver Figura 5-15) tan bajas, significa que un número imperceptible de agentes responden inicialmente de forma positiva a la demanda del entorno competitivo, observándose que a partir del periodo 20, todos los agentes del sistema desacumulan en todas las posiciones de su vector las capacidades de innovación.

El comportamiento anterior no representa ningún patrón de aprendizaje ni de especialización; por el contrario, señala cómo desacumulan rápidamente las capacidades de innovación los agentes del sistema, producto de la no interacción con el entorno competitivo. Tales dinámicas señalan cómo un SRI puede perder rápidamente sus capacidades de explotación y exploración, producto de la incapacidad de interacción de sus agentes con el mercado, lo que demuestra la incapacidad de estos sistemas para navegar por modelos del tipo *marketpull* descrito por Rothwell (1994) así como de una "Miopía del Marketing" planteada por Levitt (1960).

#### 5.2.4. Comparación de los escenarios

El desempeño económico e innovador observado en los tres escenarios propuestos



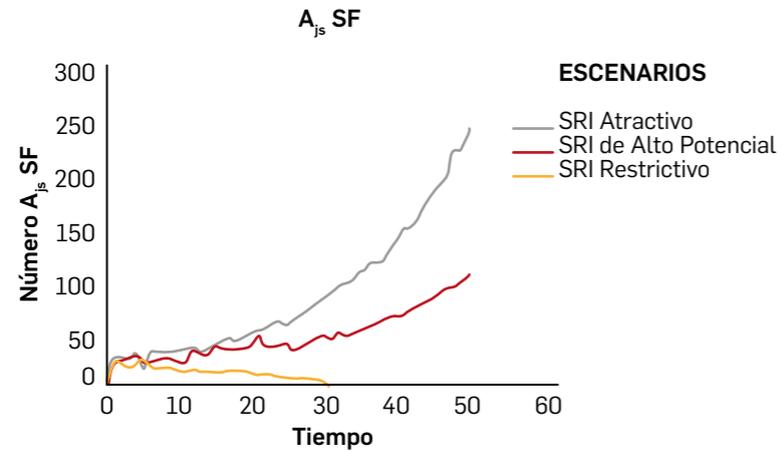
Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0

Figura 5-15. Variación de las capacidades de los agentes competidores que hacen SF

(curvas gris, roja y amarilla) se analizaron a través de las variables: stock de excedentes acumulado y número de agentes que construyen fórmulas de éxito y del sistema. Las diferentes simulaciones indicaron que los escenarios 1 y 2 (curvas gris y roja) presentan un mejor desempeño económico (ver Figura 5-17 y Figura 5-18, página 171) e innovador (curvas gris y roja) (ver Figura 5-16, siguiente página), tanto de los agentes como para el sistema.

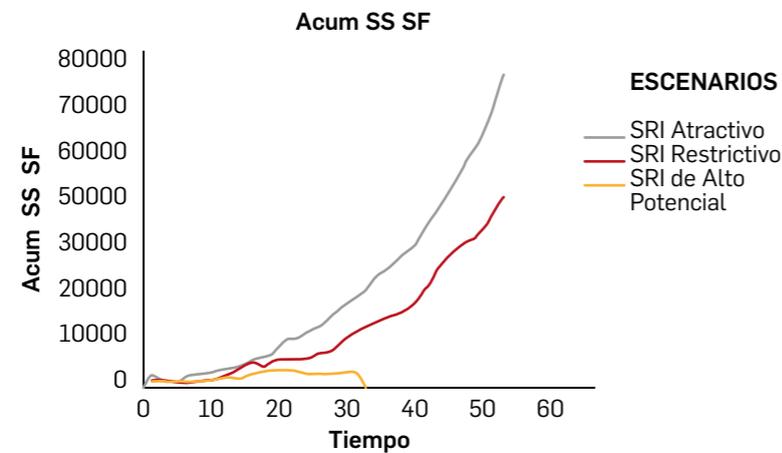
El escenario 1 presenta como característica primordial el aprendizaje interactivo, así mismo representa los patrones de especialización de las capacidades de innovación. Los patrones arrojados en el escenario 1 fueron patrones hacia la explotación y exploración, ocasionando en los agentes del SRI la especialización funcional del vector de las capacidades; dicho comportamiento apunta a una división del trabajo y el encadenamiento productivo de los agentes del sistema. La heterogeneidad del sistema también puede ser observada a través del número de agentes que construyen fórmulas de éxito y la variación de estos en sus capacidades, comportamiento que busca la libre competencia entre los agentes del sistema, característica importante en las economías actuales.

En el escenario 2, a pesar de representar dinámicas de aprendizaje interactivo atractivas, el desempeño económico (curva roja) (ver Figura 5-17 y Figura 5-18) e innovador (curva roja) (ver Figura 5-16) no fue tan significativo como en el escenario 1. El escenario



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos y experimentos en la plataforma Netlogo.

Figura 5-16. Análisis comparativo del número de agentes que construyen fórmulas de éxito en los tres escenarios propuestos.

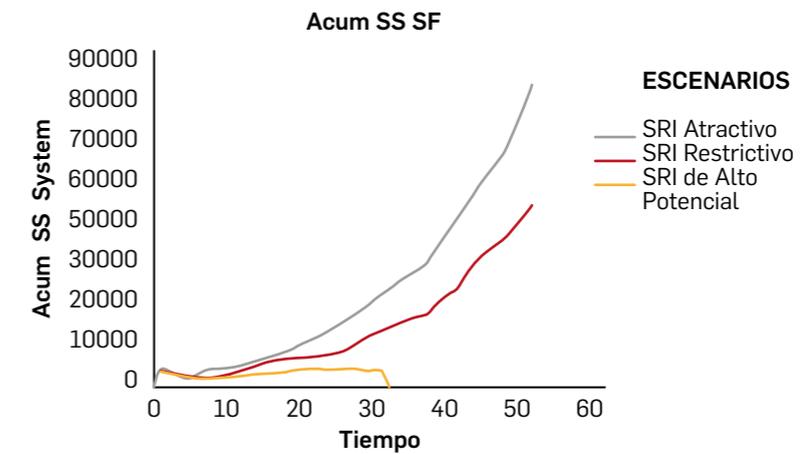


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos y experimentos en la plataforma Netlogo.

Figura 5-17. Análisis comparativo del desempeño económico a través del stock de excedentes acumulado de los agentes que construyen fórmulas de éxito en el sistema.

2 presenta un número menor de agentes competidores (curva roja) (ver Figura 5-16); así mismo, puede observarse por medio del vector de capacidades que algunos agentes competidores presentan capacidades de niveles avanzados y se encuentran localizados dominando una gran parte del territorio de la grilla de simulación, caso diferente de lo que ocurre en el escenario 1.

El comportamiento anterior indica una distribución desigual de las capacidades entre los diferentes agentes que conforman el SRI como lo señalan Malberg y Maskell (1997; 1999) y Braczyk, Cooke y Heidenreich (2004); tal comportamiento favorece la especialización del vector de capacidades de los agentes de manera integral, propiciando así comportamientos de carácter localizado de oligopolios y monopolios que inhiben el favorecimiento de la división del trabajo y la posibilidad de que agentes nacientes y emprendedores sobrevivan en el tiempo. El escenario 3 o escenario restrictivo problema es muy dicente, no hay presencia de dinámicas innovadoras y menos aún de aprendizaje interactivo, lo que conlleva a un precario desempeño económico e innovador de los agentes del SRI (curva amarilla) (ver Figura 5-16, Figura 5-17 y Figura 5-18).



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos y experimentos en la plataforma Netlogo.

Figura 5-18. Análisis comparativo del desempeño económico a través del stock de excedentes acumulado del sistema.

El comportamiento estilizado de las dinámicas de aprendizaje a través de la acumulación de las capacidades de innovación de los escenarios 1 y 2 representan comportamientos similares y acordes con los estudios reportados por la literatura especializada, acerca del comportamiento en la construcción y acumulación de las capacidades tecnológicas presentados (Hobday, 1995; 1997).

### 5.3. Análisis estadístico de las simulaciones

Para este análisis se realizó un diseño de experimentos completamente aleatorizado con la herramienta y software estadístico R. El objetivo fue establecer la existencia de diferencias significativas en los veinte (20) experimentos realizados para cada uno de los escenarios planteados con el fin obtener conclusiones válidas y objetivas sobre el proceso de simulación.

La aleatorización permite el desarrollo de un análisis más conforme en cuanto a que se previene la introducción de sesgos sistemáticos en los experimentos. De no usar aleatorización, no se puede decir si una diferencia observada es causada por las diferencias entre los tratamientos o por el método utilizado.

El ejercicio del diseño de experimentos partió de una variable respuesta, dicha variable correspondió a la capacidad acumulada en sus distintas posiciones en los agentes que realizan fórmulas de éxito.

Las covariables o efectos fijos denominados factores, correspondieron al stock de excedentes, a los escenarios propuestos y, por último, al ítem o factor denominado de capacidad, este último va de uno a cinco capacidades; las covariables resultaron ser significativas sobre la variable respuesta del modelo.

A continuación se presentan los experimentos que fueron analizados y que corresponden a los tres escenarios: atractivo, de alto potencial y restrictivo. Para efectos de la implementación del modelo se presentan en la Tabla 5-2 los factores y sus respectivos niveles. Y en la Tabla 5-3 (página 176), se presenta el ANOVA del modelo estadístico.

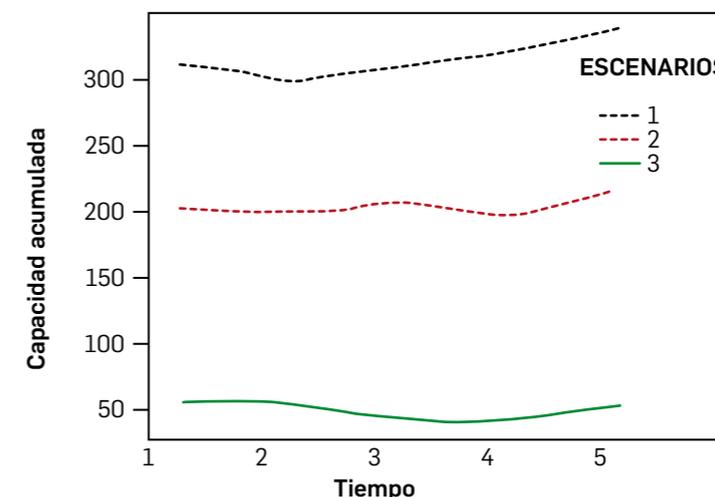
La Figura 5-19 señala las posibles diferencias entre el factor capacidad en los escenarios, esto significa que podrían existir diferencias significativas entre los escenarios y los niveles de las capacidades acumuladas. Además, existen variaciones significativas en la capacidad acumulada en el escenario 3 con relación a los escenarios 1 y 2 (ver Figura 5-20, página 174). Se puede observar particularmente que la caja del escenario 3 no presenta traslapación con los escenarios 1 y 2, lo que indica que existe una diferencia significativa frente a ellos.

Por otro lado, la Figura 5-21 (página 174) indica cómo varían las capacidades promedio acumuladas con relación al número de agentes que realizan fórmulas de éxito, observándose diferencias significativas en

Tabla 5-2. Factores y niveles analizados

Factores	Escenario	Capacidades	Aprendizaje	Des aprendizaje	Inventario	
Niveles del factor	1	Atractivo	I+D	0.3	0.3	1,2,3,...2600
	2	De alto potencial	Gestión de recursos	0.9	0.9	
	3	Restrictivo	Intermediación	0.1	0.1	
	4		Producción			
	5		Mercadeo			

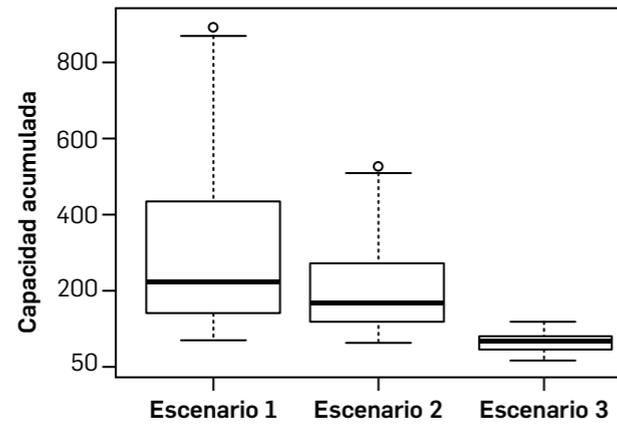
Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración a partir del software estadístico R.

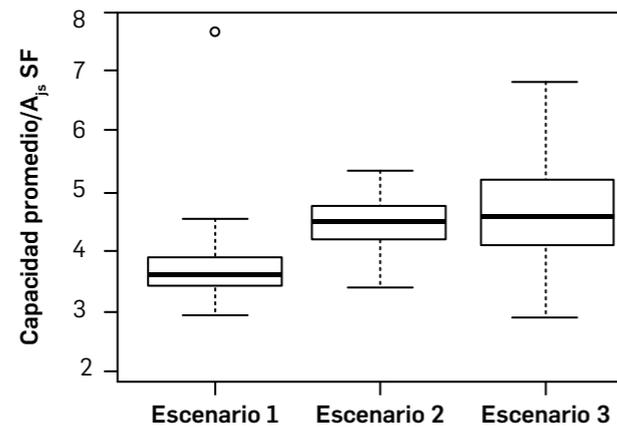
Figura 5-19. Plot de interacción entre: factor capacidad vs escenarios

el escenario 1 con relación a los escenarios 2 y 3, lo que indica que la capacidad promedio por agente que realiza fórmulas de éxito se encuentra en un nivel intermedio con relación a los otros dos escenarios. Este comportamiento señala cómo los agentes de una región son heterogéneos presentando un promedio en sus capacidades acumuladas por agente que permite la división del trabajo y el encadenamiento productivo.



Fuente: Elaboración a partir del software estadístico R.

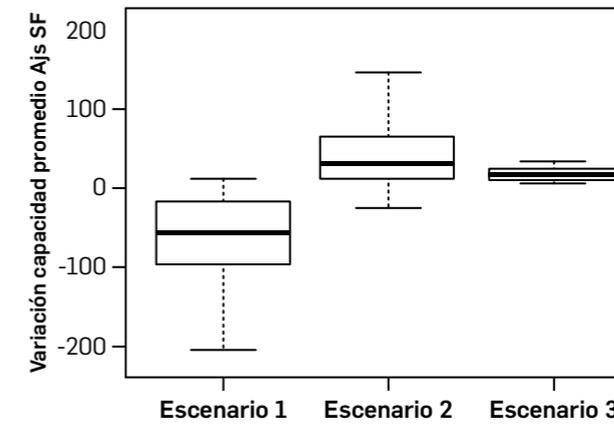
Figura 5-20. Boxplot de la variación de las capacidades acumuladas en los escenarios



Fuente: Elaboración a partir del software estadístico R.

Figura 5-21. Boxplot de la capacidad promedio por agentes que hacen fórmulas de éxito

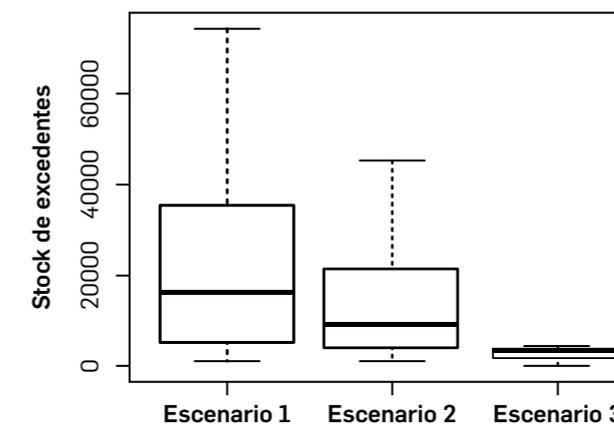
La Figura 5-22 señala la variación en las capacidades de los agentes que están realizando fórmulas de éxito, esto demuestra cómo el escenario 1 atractivo, presenta una mayor variación en la variación promedio de las capacidades, indicando una fuerte especialización de los agentes del sistema en algunas posiciones.



Fuente: Elaboración a partir del software estadístico R.

Figura 5-22. Boxplot variación de la capacidad promedio de los agentes que realizan fórmulas de éxito

La variabilidad que presenta la variable stock de excedentes en los diferentes escenarios se puede observar en la Figura 5-23. Los escenarios 1 atractivo y 2 de alto potencial, acumularon el mayor número en el stock de excedentes a través del tiempo en las simulaciones, lo que indica que estos escenarios son los que mejor comportamiento presentan



Fuente: Elaboración a partir del software estadístico R.

Figura 5-23. Boxplot stock de excedentes de los escenarios

hacia el aprendizaje. El escenario 3 de un SRI restrictivo, presenta diferencias significativas con respecto a los escenarios 1 y 2, indicando que en este escenario los experimentos realizados presentaron una variabilidad representativa debido a que los agentes desaprenden en el sistema.

La ecuación para el modelo de efectos fijos y sus respectivas restricciones se presentan en la Ecuación 7 y Ecuación 8 así:

**Ecuación 7**

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \delta_k + \varepsilon$$

Con:  $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \delta^2)$   $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$   $j = 1, 2, 3, \dots, 50$   $k = 1, 2, 3, \dots, 130$

**Ecuación 8**

$$\sum_{i=1}^6 \alpha_i = \sum_{j=1}^{50} \beta_j = \sum_{k=1}^{130} \delta_k = 0$$

Tabla 5-3. ANOVA del modelo estadístico

Factor	Grados de libertad	Sum Sq	Mean Sq	Valor F	Valor p
Escenario	2	5990141	2995071	11114.42	<2e-16
Capacidad	4	29649	7412	27.51	<2e-16
Stock de excedentes	128	14968301	116940	433.95	<2e-16
Residuales	520	140128	269		

Fuente: Elaboración propia

En ese orden de ideas, la hipótesis de interés corresponde a determinar si los factores fijos de los tres escenarios propuestos son iguales para la capacidad promedio acumulada en el número de agentes que realizan fórmulas de éxito en el tiempo.

$$H_0: \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 0$$

$$H_1: \text{algún } \alpha_i \neq 0$$

Por lo tanto, el estadístico de prueba corresponde a la siguiente Ecuación:

**Ecuación 9**

$$F = \frac{MSA}{MSE} \sim F_{a-1, (a-1)(b-1)}^{H_0}$$

$$F_0 = \frac{29649}{7412} = 40.02$$

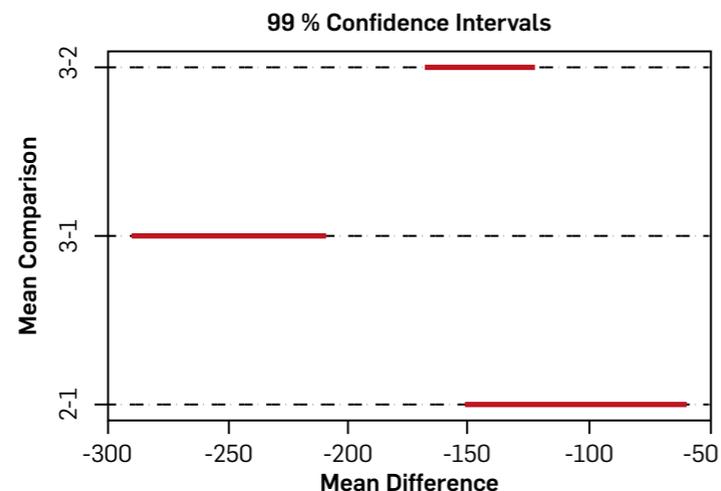
A continuación se presentan en la Tabla 5-4, los intervalos de confianza hallados mediante la prueba de Tukey, que busca evaluar la igualdad entre los niveles de la variable escenario.

Tabla 5-4. Intervalos de Tukey para las diferencias de medias

Escenarios comparados		Diferencia	Límite inferior	Límite superior	Decisión
2	1	-104.352	-150.0845	-58.62	Hay diferencias
3	1	-249.97	-290.77	-209.1684	Hay diferencias
3	2	-145.617	-167.6325	-123.6026	Hay diferencias

Fuente: Elaboración propia a partir de R

De acuerdo con esta Tabla, se rechaza la hipótesis nula planteada y se concluye que sí hay efectos diferenciados entre los tres escenarios analizados; esto se observa debido a que los intervalos de confianza tipo Tukey no contienen al cero (ver Figura 5-24, página siguiente), lo que indica fuertes diferencias significativas en los resultados obtenidos en los tres escenarios y sus experimentos. Lo anterior señala que las simulaciones de la variable respuesta capacidades acumuladas en el tiempo de los tres escenarios, presentan diferencias significativas, esto hace pensar que, a pesar de no haber incluido otras variables, el modelo es confiable en un 99% para esta variable de salida.



Fuente: Elaboración propia a partir de R.

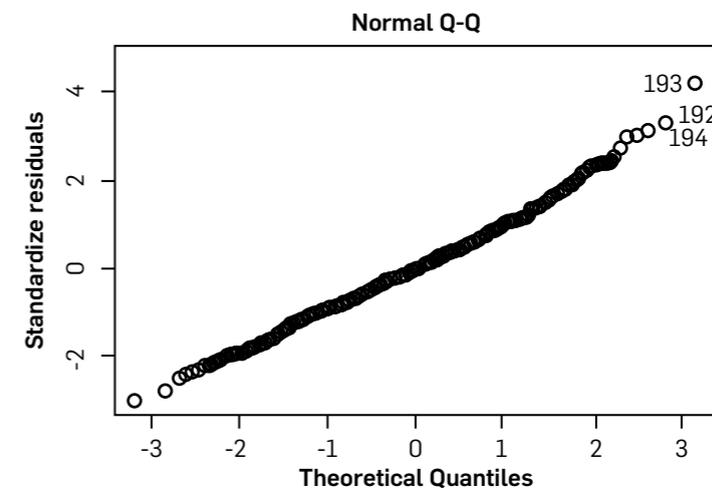
Figura 5-24. Intervalos de confianza tipo Tukey

Posteriormente, se evaluó la normalidad en los residuales del modelo ajustado y se encontró que, al parecer, existe un buen ajuste en la distribución de los residuales del modelo a la normalidad. Esto significa que las simulaciones, en sus tres escenarios, se ajustan a una distribución normal. Lo anterior se puede evidenciar en el siguiente gráfico de cuantiles con los residuales estandarizados (ver Figura 5-25).

Luego de probar estadísticamente que las simulaciones de los escenarios propuestos presentan diferencias significativas, se procedió a validar el modelo.

#### 5.4. Formulación y evaluación de políticas

En esta sección se busca evaluar un conjunto de políticas con el ánimo de valorar su efecto en el desempeño económico del SRI, el objetivo es estimular los agentes competidores del sistema a través de las políticas o incentivos que proporcionan mayores ingresos por cada atributo de explotación, exploración o ambos. El objetivo de dichas políticas es conocer y comprender aquellos comportamientos en los que se puedan proporcionar mayores dinámicas innovadoras y de aprendizaje interactivo en el sistema. Las políticas han sido definidas a partir de los comportamientos en los ciclos de exploración y explotación de los agentes de un SI y la combinación de estos (Nooteboom, 2000). El conjunto de políticas definidas agrupan las medidas que buscan incentivar y aumentar



Fuente: Elaboración propia a partir de R.

Figura 5-25. QQ plot del gráfico de cuantiles

el desempeño económico del sistema e incentivar dinámicas de innovación, aprendizaje interactivo, la evolución y sostenibilidad del sistema. A continuación se describe cada grupo de políticas.

- **Grupo de políticas 1.** Este conjunto de políticas pretende incidir en las capacidades de explotación (capacidad de mercadeo y de producción de una región), mediante medidas que promueven incentivos para la explotación del conocimiento. Estas pueden centrarse en diversos mecanismos, entre los que se destacan la inversión extranjera directa en la producción de bienes y servicios, *joint ventures* entre agentes de la misma región, licenciamiento, manufactura de equipos originales (OEM), diseño propio y manufactura (ODM), subcontratación, importación de nuevos equipos tecnológicos, alianzas estratégicas de manufactura, inversión de compradores extranjeros y locales, e incentivos para la importación y apropiación de nuevas tecnologías, mecanismos que contribuyen a generar dinámicas innovadoras de largo plazo (Nelson, 1993; Hobday, 1995; 1997; Kim, 1997; 1999; Lundvall, Intarakumnerd, & Vang, 2006). Las políticas evaluadas en el modelo de simulación se relacionan con el aumento y promoción de incentivos hacia las capacidades de mercadeo y producción de los agentes del SRI.
- **Grupo de políticas 2.** Busca incidir en las capacidades de exploración o de I+D en una región, esto se logra mediante medidas o incentivos que promueven la explora-

ción del conocimiento nuevo o ya existente. Algunos de los mecanismos por los cuales se materializa esta política son: formación de alto nivel en el recurso humano (maestrías y doctorados) en áreas estratégicas para la región, aumento en el presupuesto en la inversión de *I+D* por parte de todos los agentes del sistema, desarrollo de proyectos científicos y tecnológicos necesarios para la región, subcontratación y enganche de nuevo personal científico y tecnológico, retención del capital intelectual en el ámbito regional, propiciar interacciones y las redes de trabajo colaborativo entre los agentes del *SRI*, apropiación del conocimiento y la transferencia de tecnología desarrollada localmente, generación de redes de conocimiento localizado, así como alianzas estratégicas para el desarrollo de conocimiento nuevo o ya existente. Finalmente, este grupo de políticas pretende un mejor desempeño económico e innovador del sistema, mediante incentivos tributarios que faciliten el desarrollo y la apropiación del nuevo conocimiento y la tecnología por medio de proyectos conjuntos entre los diferentes agentes del *SRI*.

- **Grupo de políticas 3.** Las políticas contenidas en este grupo propenden por lograr un desempeño económico e innovador equilibrado en un *SRI*, lo que significa mayores dinámicas innovadoras y de aprendizaje interactivo por medio de un equilibrio entre la explo-

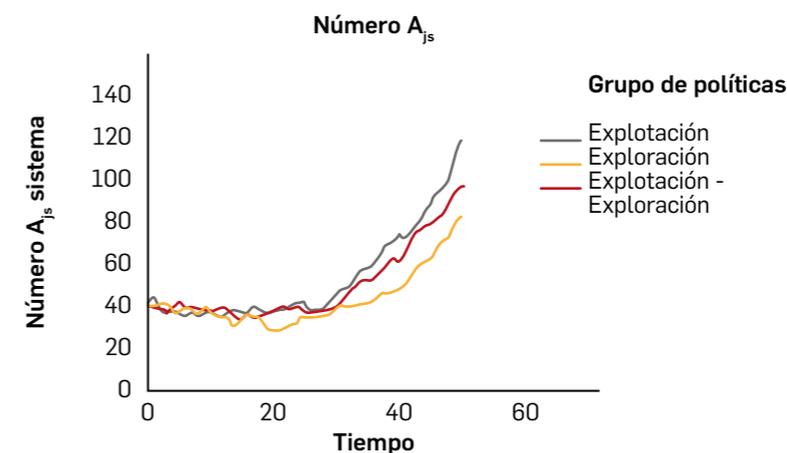
tación y la exploración. Los mecanismos por los cuales se materializa este objetivo es por medio de la integración del grupo de políticas grupo 1 y 2. Lo anterior se enmarca en el uso racional y efectivo de los recursos y las capacidades, de forma que se materialice un mejor desempeño económico e innovador de los agentes del sistema a partir de las capacidades de explotación y exploración.

Luego de definir los grupos de políticas a ser evaluadas en el modelo de simulación, entre infinitas opciones posibles, fueron modificados en los escenarios las entradas en los ingresos por atributo que se asocian a cada política (mayores ingresos hacia la exploración, explotación o ambos). Finalmente, se evaluó el comportamiento de las variables de salida seleccionadas que miden el desempeño económico e innovador, como lo son el número de agentes que realizan fórmulas de éxito y el stock de excedentes acumulado. Así mismo, se observó el aprendizaje a través de la acumulación y variación en las capacidades en un rango de tiempo de 50 años (*ticks*).

Una vez se conocen las dinámicas de innovación y del aprendizaje interactivo en un *SRI*, el planteamiento de estos tres escenarios ayudará en la orientación y definición de políticas y estrategias para un *SRI*. Dichas políticas tienen como fin mejorar el desempeño económico e innovador de un *SRI* a partir de la interacción entre agentes. A continuación se muestra la evaluación y

el análisis de los tres grupos de políticas, partiendo de un *SRI* atractivo que presenta aprendizaje interactivo con potencial competitivo de sus agentes. Los diversos efectos obtenidos sobre el comportamiento de las variables de salida que miden el desempeño económico e innovador, como el número de agentes competidores que construyen fórmulas de éxito, stock de excedentes acumulado y la acumulación y variación en las capacidades de innovación, ayudará en la conducción y definición de nuevas orientaciones de política en los *SRI* a partir del aprendizaje interactivo.

El grupo 1 de políticas tiene como objetivo incentivar en los agentes del sistema la explotación a través de las capacidades de mercadeo y producción de los agentes. De igual forma, este grupo de políticas exhibió un comportamiento ascendente y superior a los grupos de política 2 y 3 con relación al número de agentes que construyen fórmulas de éxito en el sistema (curvas gris, roja y amarilla) (ver Figura 5-26).



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos comparativos de política de la plataforma Netlogo.

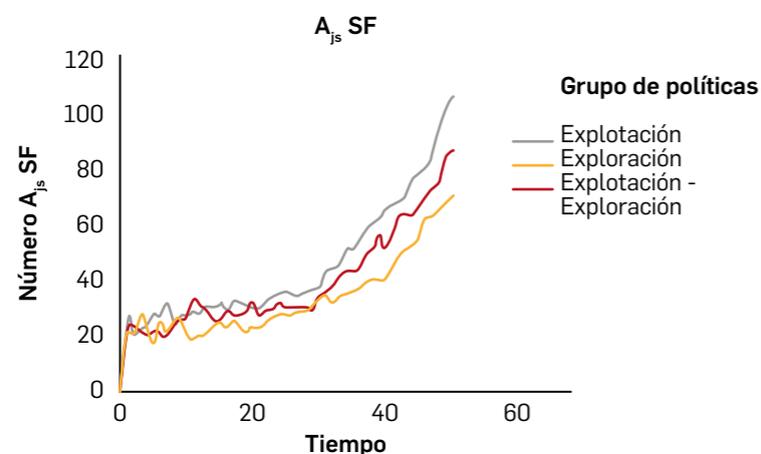
Figura 5-26. Número de agentes del sistema

El comportamiento de los agentes del *SRI* del grupo de políticas 1 (curva gris), señala que cuando se incentivan las capacidades de explotación, y en particular el mercadeo y el aparato productivo de una región por alguno de los mecanismos mencionados anteriormente, el aprendizaje interactivo emerge rápidamente proporcionando un mejor desempeño económico e innovador del sistema. El comportamiento anterior significa que un gran número

de agentes interactúan de manera gradual y progresiva en el tiempo, mejorando la interacción y el aprendizaje interactivo de la región. Cabe anotar que a partir del periodo (*tick* 25) los tres grupos de políticas configuran una forma diferente en el número de agentes presentes en el SRI.

Las dinámicas del aprendizaje interactivo por medio de una política de explotación, determina desempeños económicos e innovadores más importantes que el grupo de políticas 2 (curva amarilla) que incentiva la exploración. Esto pone de manifiesto que las firmas explotadoras son más capaces de reconocer y explotar una nueva información relevante en particular como las oportunidades de innovación. Esto ratifica que son los explotadores quienes presentan una mayor capacidad para leer y entender las señales del mercado producto de las interacciones con el agente entorno (Gilsing & Nootboom, 2006).

Comparativamente, los tres grupos de políticas presentan comportamientos ascendentes; se destacan los grupos 1 y 3 (curvas gris y roja) en cuanto al número de agentes que construyen fórmulas de éxito, respondiendo este grupo de políticas satisfactoriamente a los estímulos e incentivos que entrega el agente entorno competitivo a través de sus oportunidades de innovación (ver Figura 5-27).

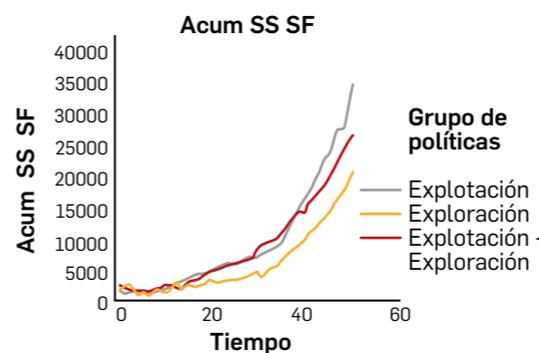


Fuente: Elaboración propia a partir de los datos comparativos de política de la plataforma Netlogo.

Figura 5-27. Número de agentes que construyen fórmulas de éxito

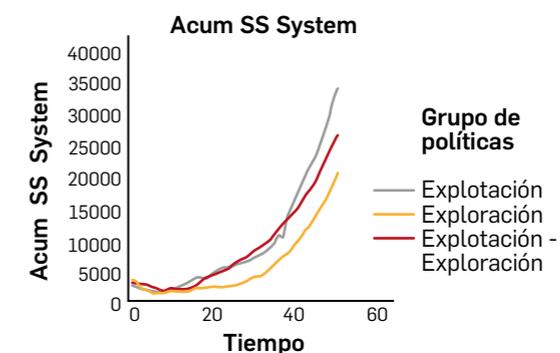
El desempeño económico del grupo de políticas 2 (curva amarilla: incentivo hacia la exploración) es muy diciente. Una política encaminada a incentivar el desarrollo científico, así como el desarrollo de nuevos bienes y servicios, no es exitosa si el conocimiento desarrollado no tiene por objetivo la explotación. Por tal motivo, el desempeño del SRI se puede ver afectado por otros grupos de política más eficaces. El grupo de políticas 3 (curva roja: incentivo hacia explotar y explorar) conserva realmente un equilibrio entre los grupos de política 1 y 3 (curvas gris y amarilla); el incentivo en el aparato científico y productivo de una región por parte del entorno o mercado como se dio en las regiones de los países del oriente asiático, establece un aprendizaje localizado más equilibrado por parte de la interacción entre agentes en los SRI, producto del jalonamiento de la demanda por parte del entorno o mercado competitivo.

La variable stock de excedentes promedio y acumulado para los agentes que responden al entorno satisfactoriamente presentan un comportamiento ascendente en los tres grupos de política. Sin embargo, los grupos 1 y 3 presentaron un comportamiento similar hasta el periodo 37 (ver Figura 5-28 y Figura 5-29). De igual forma, a partir de dicho periodo, el grupo de políticas 1 presentó un mejor desempeño económico a través del stock de excedentes acumulado de los agentes que realizaban fórmulas de éxito. En otras palabras, un número significativamente mayor de agentes se enganchaba en dinámicas de aprendizaje interactivo a través de las fórmulas de éxito para el grupo de políticas 1.



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos comparativos de política de la plataforma Netlogo.

Figura 5-28. Stock de excedentes promedio



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos comparativos de política de la plataforma Netlogo.

Figura 5-29. Stock de excedentes acumulado

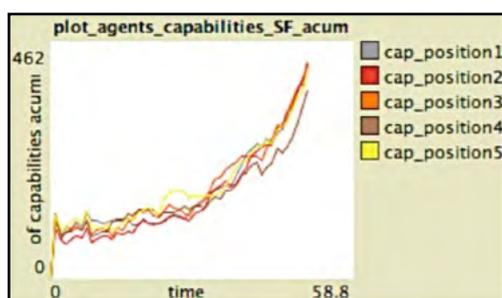
Se podría inferir que las políticas del grupo 3 exponen un tiempo para dar sus frutos (a partir del año 24). Sin embargo, en algunas regiones pretenden obtener resultados tempranos de aprendizaje interactivo en sus sistemas de innovación, resultados tempranos que proporcionan discontinuidades en las políticas y generan descoordinación y pérdida en el norte estratégico no solo para la región sino también para los agentes del sistema. Los estudios descritos en el sector de la electrónica del oriente asiático presentaron comportamientos ascendentes y acumulación en las capacidades tecnológicas de sus agentes en periodos muy similares (24 a 37 años).

La acumulación de las capacidades en los agentes que responden a la demanda presenta un comportamiento ascendente en los tres grupos de políticas. Sin embargo, el grupo de políticas 1 fue el que presentó una mayor acumulación de las capacidades (ver Figura 5-30). La variación en las capacidades, por su parte, fue negativa para los tres grupos de política, destacándose un mejor comportamiento en la variación de las capacidades del grupo de políticas 1. Lo anterior se interpreta así: cuando se realiza un incentivo hacia la explotación, las posiciones 1 y 5 (capacidades de investigación y de mercadeo, respectivamente), presentan una mayor variación negativa en dichas posiciones, lo que indica que el sistema y sus agentes trabajan por especializarse de manera funcional en estas posiciones de las capacidades (ver Figura 5-31), es decir, se evidencian mayores dinámicas de aprendizaje interactivo por parte de los agentes del SRI así como una mayor acumulación de las capacidades.

Al comparar el grupo de políticas 1 y 3 (ver Figura 5-32 y Figura 5-33) se observan mayores variaciones negativas en las capacidades del grupo de política 1, lo que indica un mayor número de agentes heterogéneos que responden interactivamente a la demanda del entorno. Lo anterior significa que para un SRI es muy importante un grupo de políticas 1 a través de los diferentes mecanismos o incentivos gubernamentales o de mercado hacia el aparato productivo de la región (explotadores). Tales políticas dinamizan los diferentes agentes del sistema y sus capacidades de innovación tecnológica. Además, son el detonante para que otras capacidades de innovación que igualmente importantes mejoren el desempeño del sistema a través del aprendizaje interactivo.

Los comportamientos anteriores llevan al siguiente análisis: las decisiones de política y estrategia en un SRI, no solo deben pasar por un enfoque que incentive y equilibre la explotación y la exploración, sino que deben también incentivar otras capacidades específicas de innovación tecnológica como lo son las capacidades de direccionamiento estratégico, mercadeo y gestión de recursos para lograr un mejor desempeño en estos sistemas.

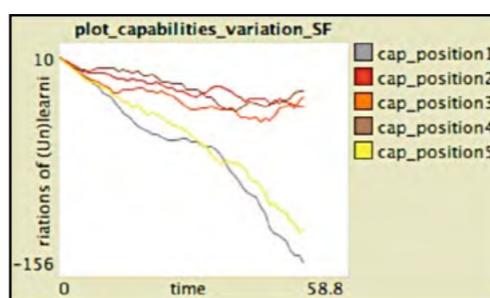
Finalmente, los escenarios de políticas proporcionan una mejor comprensión en el cómo aprenden los agentes de un SRI y cómo reconocen el valor de la nueva información externa para asimilarla y aplicarla con el fin de explotarle comercialmente. Además, señalan cómo lograr una política estratégica para el logro de una compensación del entorno y



Grupo de políticas 1

Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0 a partir de los escenarios de política.

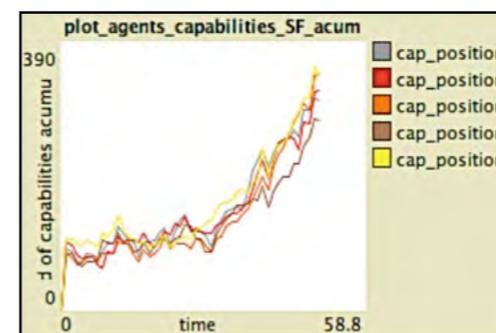
Figura 5-30. Acumulación de las capacidades



Grupo de políticas 1

Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0 a partir de los escenarios de política.

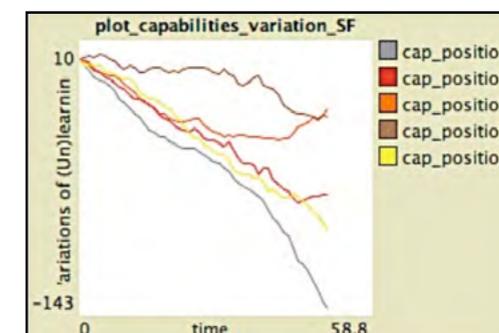
Figura 5-31. Variación de las capacidades



Grupo de políticas 3

Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0 a partir de los escenarios de política.

Figura 5-32. Acumulación de las capacidades



Grupo de políticas 3

Fuente: Programa Netlogo versión 5.1.0 a partir de los escenarios de política.

Figura 5-33. Variación de las capacidades

un equilibrio en los agentes para un mejor desempeño económico de un SRI por medio del aprendizaje interactivo. Por último, es importante comprender y entender cómo hacen los agentes de un SRI para invertir

en los nuevos conocimientos (exploración) apropiarlos y asimilarlos para posteriormente transformarlos (explotación) en la realidad económica actual de mercados.

## 6. Conclusiones y trabajo futuro

### 6.1. Conclusiones

Al analizar la literatura especializada del aprendizaje en los sistemas de innovación y en particular en los SRI se encuentra la necesidad de abordar el fenómeno desde nuevos enfoques y metodologías, dado que existe una crítica por el sesgo hacia la teorización que va en detrimento de los estudios empíricos en estos sistemas. Por otra parte, muchos estudios ofrecen generalmente una foto estática de agentes e instituciones en lugar de presentar procesos de ajuste y sus dinámicas que permitan estudios longitudinales tomando en consideración funciones, roles y relaciones de los diferentes actores que componen un SRI. Los modelos y sus métodos convencionales para analizar el aprendizaje encontrados, evidencian dificultades a la hora de describir dinámicas complejas como lo son los procesos de aprendizaje interactivo y, por lo tanto, resulta necesario usar mecanismos de análisis alternativos como las simulaciones. Los hallazgos del marco teórico y las evidencias en el estado del arte

permitieron trabajar bajo la hipótesis de un modelo que ofreciera una mejor comprensión del aprendizaje interactivo y sus patrones, ayudando a conducir y a orientar estrategias de política con miras a mejorar el desempeño innovador del sistema.

El modelo propuesto realiza contribuciones originales en la representación de los agentes y sus procesos de aprendizaje y desaprendizaje, así como en la introducción del principio de racionalidad limitada en la toma de decisiones por parte de los agentes competidores; esto equivale a representar un sistema de innovación cuyo entorno competitivo no conoce toda la información que poseen los agentes competidores del sistema. La distinción y consideración significativa del modelo con relación a otros modelos, es la representación del aprendizaje interactivo, aprendizaje que se sustenta desde las dinámicas en la acumulación las capacidades y, por ende, el mejoramiento de las competencias y el desempeño económico e innovador de los agentes y el sistema.

El trabajo realizado supera la dificultad encontrada en la mayoría de trabajos que estudian el fenómeno del aprendizaje interactivo, que presentan una foto estática y limitan el análisis longitudinal y dinámico, indispensable para detectar dinámicas de aprendizaje y desaprendizaje gracias al relacionamiento entre agentes y a sus efectos sobre el desempeño económico e innovador del sistema. Con relación a los otros modelos de interacción entre agen-

tes heterogéneos para la innovación, se superan las limitaciones de los supuestos al brindar un enfoque *market-pull*, permitiendo crear un entorno competitivo dinámico que genera múltiples oportunidades de innovación en cada período, lo que permite representar diferentes necesidades o atributos; premiar y retribuir a los agentes que suplen las oportunidades de innovación con beneficios; asignar un ciclo de vida de la innovación y una volatilidad a las oportunidades de innovación; regir la búsqueda de agentes por una lógica de localización geográfica, que le da una racionalidad limitada al agente, sin convertirse en un limitante para buscar agentes complementarios en sus capacidades distantes; y, por último, se le permite a los agentes tener un vector capacidades que está en función del factor de aprendizaje y de desaprendizaje que posibilita la acumulación y desacumulación de las capacidades de los agentes en el sistema.

El modelo contribuye al análisis de las dinámicas de aprendizaje del tipo *doing-interacting* y de sus patrones de especialización que pueden verse afectados por el factor de aprendizaje definido para el sistema; la distinción de la heterogeneidad de los agentes es clave sobre todo en comparación con otros modelos. Los agentes son representados a través de un vector de capacidades, para los agentes competidores, y un vector de atributos, para el agente entorno competitivo; el vector otorga la posibilidad de interacción entre agentes a través de reglas de decisión como lo son

la cercanía y la complementariedad de las capacidades, permitiendo suplir la falencia de otros modelos acerca de la racionalidad limitada de sus agentes. El vector de las oportunidades de innovación con sus respectivos atributos permite representar una demanda aleatoriamente localizada, provista de volatilidad y tiempo del ciclo de vida de la innovación. Este ciclo correspondiente al periodo en el cual el o los agentes son capaces de satisfacer la demanda y recibir beneficios, como una variable clave y significativa cuando se quiere relacionar con el desempeño económico de los modelos existentes. El vector de capacidades de los agentes competidores representa de una forma distintiva la heterogeneidad de cada agente en el sistema, y además permite a los agentes que interactúan complementar sus capacidades de forma individual o colectiva, favoreciendo una mejor comprensión del porqué se generan alianzas y redes de trabajo colaborativo en el sistema.

Los patrones de especialización funcional e integral representan una variación y acumulación positiva de las capacidades, comportamiento que indica que los agentes responden satisfactoriamente a los atributos de las oportunidades de innovación que demanda el entorno. Cuando los agentes acumulan sus capacidades en una o más posiciones de su vector se manifiesta el aprendizaje *doing - interacting*, lo que genera un efecto positivo en el desempeño del sistema. En caso contrario, los agentes desaprenden con efectos ad-

versos al desempeño. Ahora, si los agentes que interactúan en un SRI acumulan sus capacidades en más de dos posiciones de su vector de capacidades, lograrán una especialización integral; en caso contrario, se especializarán funcionalmente, producto de alcanzar rápidamente capacidades avanzadas en las posiciones más utilizadas y, como consecuencia, desacumularán las capacidades en sus posiciones menos usadas. Los patrones de especialización funcional e integral expusieron efectos positivos en el desempeño económico e innovador del sistema; en la medida que los agentes se especialicen funcionalmente, el sistema alcanzará un desempeño económico e innovador satisfactorio producto del aprendizaje *doing - interacting*, que tiene como consecuencia el aumento en el stock de excedentes del sistema y redes y alianzas colaborativas que facilitan el encadenamiento productivo de una región. Por el contrario, la especialización integral expone un desempeño innovador contrario al de la especialización funcional, afectado por la escasez de redes y alianzas colaborativas a pesar de presentar efectos positivos en el desempeño económico. No obstante, el sistema se puede ver afectado por la exposición de escasos agentes heterogéneos, con capacidades avanzadas que limitan el encadenamiento productivo y la posibilidad de supervivencia de los nuevos agentes emprendedores del sistema. Los patrones de especialización, entonces, ayudan a comprender tendencias de especialización (exploración, explotación) y la forma en que emergen la

división del trabajo y el encadenamiento productivo como consecuencia del aprendizaje interactivo, lo que posibilita conocer y comprender por qué sobreviven y mueren los agentes competidores de un SRI y cuáles son las tendencias.

Los atributos más relevantes del modelo estriban en la posibilidad de simular y analizar diferentes escenarios como una propuesta novedosa para la orientación de los decisores de la política regional. Entender y comprender mejor las diferentes dinámicas del aprendizaje interactivo, el desaprendizaje y sus patrones de especialización en un SRI, es de gran importancia para entender cómo algunas regiones aprenden y desaprenden. En primer lugar, aquellos agentes que participan activamente en la construcción de fórmulas de éxito, tendrán como consecuencia una mayor probabilidad de aprender y sobrevivir en el tiempo, producto de la capacidad de los agentes para generar beneficios, que se pueden ver reflejados en el stock de excedentes y, por lo tanto, en un mayor desempeño económico del sistema. Las regiones que aprenden y acumulan sus capacidades presentan una gran variedad de agentes heterogéneos capaces de responder rápidamente a cualquier demanda. Además, este tipo de regiones podrían ser más propensas a la adaptación de sus agentes y pueden dar respuestas oportunas a las oportunidades de innovación en los momentos de crisis gracias al aprendizaje interactivo logrado en el pasado.

A pesar de que el concepto de SRI y su marco conceptual se han venido explorando y desarrollando teóricamente de manera extensa en las últimas dos décadas, la simulación de estos sistemas y sus procesos de innovación desde perspectivas *bottom-up* es un tema que todavía está por desarrollar. El modelo propuesto en esta investigación a través del enfoque de la modelación basada en agentes tiene como propósito aportar en el cuerpo de conocimiento actual y existente en los SRI. Por medio de este modelo de simulación, se podrán simular sistemas de innovación localizados, permitiendo así una mejor comprensión de cómo se dan las dinámicas de aprendizaje interactivo por medio de la interacción entre agentes en el sistema. El modelo fue verificado y validado mediante la selección de los patrones de comportamiento de SRI que aprenden, centrando los análisis específicos en el aprendizaje interactivo a través de la acumulación o desacumulación de las capacidades como uno de los procesos de innovación más importantes para cualquier SRI.

Es importante anotar que el modelo propuesto en esta investigación apenas comienza, aunque los resultados obtenidos señalan que la integración y operacionalización de los conceptos de especialización funcional e integral y proposiciones en el marco de los SRI pueden ser un camino próspero para la exploración teórica y empírica del desempeño económico en los SRI a partir de las dinámicas de aprendi-

zaje desde la perspectiva de los recursos y las capacidades. Si bien el modelo no ha sido construido para facilitar y posibilitar pronósticos, permite el análisis de escenarios posibles. Su fortaleza estriba en una oportunidad para integrar las teorías, conceptos y relaciones conocidas de los procesos de innovación desde una perspectiva *bottom-up* y bajo un solo modelo basado en agentes. El modelo ayuda a comprender las dinámicas de aprendizaje de cualquier SRI.

Los escenarios de simulación explorados en esta investigación están conformados por dinámicas de aprendizaje y desaprendizaje que exponen los agentes en un SRI a través de la acumulación o desacumulación de las capacidades. Tales dinámicas son ampliamente estudiadas como procesos claves de innovación en la literatura de los sistemas de innovación. El escenario restrictivo en el cual un SRI desaprende es el resultado de la incapacidad de los agentes del sistema para responder a las oportunidades de innovación a través de la interacción y la acumulación en las capacidades, pues la poca o nula interacción de los agentes afecta notablemente el desempeño económico e innovador del sistema. Los escenarios atractivo y de alto potencial competitivo representan un SRI que aprende como resultado de las respuestas rápidas y oportunas a las oportunidades de innovación demandadas por el entorno, a través de la interacción y la acumulación de las capacidades de sus agentes. Las dinámicas de aprendizaje analizadas en los

diferentes escenarios facilitaron la observación en las tendencias de especialización en los agentes del sistema. Por su parte, los agentes de las regiones que aprenden y se especializan funcionalmente (escenario atractivo) pueden generar tendencias hacia una función (explorar; intermediar o explotar) o dos funciones (explotar e intermediar; explorar e intermediar; explorar y explotar). En otros casos (escenario de alto potencial), la región puede generar tendencias hacia todas las funciones (explora, intermedia y explota), materializándose la especialización integral del vector de los agentes que componen el sistema. Un elemento primordial a tener en cuenta para la validación, fue tener claro el propósito del modelo. En este caso, la razón principal fue ayudar en la comprensión del fenómeno del aprendizaje y los patrones más significativos en los SRI desde un marco evolutivo de la interacción entre agentes, de forma tal que se permitiera conocer los diferentes efectos para un mejor desempeño del sistema. Una variedad de técnicas de validación sugeridas por la literatura fueron exploradas y analizadas para el diseño y desarrollo del modelo de simulación. Sin embargo, la literatura presentaba dos paradigmas para verificar y validar el desarrollo de un modelo: la perspectiva simple y la perspectiva compleja. La decisión de escoger la perspectiva simple siguió la lógica de los trabajos realizados por Banks, Gerstein y Searles (1988; 2010), quienes desde ambas aproximaciones concluyen que tal perspectiva es la que más ilumina a la verificación y validación de un

modelo, además de la dificultad que se tiene para obtener datos confiables acerca de la acumulación de las capacidades en los SRI. Fue así como se eligieron dos técnicas del abanico de técnicas expuestas en la literatura que son importantes para validar el modelo conceptual y operacional, que fueron el método histórico del racionalismo y la aproximación histórica amigable.

El enfoque de la técnica del método histórico del racionalismo tuvo el fin de comprobar que los supuestos subyacentes del modelo fueran acertados. Esto se hizo a partir de premisas que se desprenden de deducciones lógicas, basadas en la teoría, para desarrollar el modelo válido. El enfoque de aproximación histórica amigable, utilizó los estudios empíricos de casos históricos específicos de la industria de la electrónica, para los parámetros, interacciones y reglas de decisión de los agentes del modelo a partir de las dinámicas de aprendizaje y la construcción y la acumulación de las capacidades. Bajo este enfoque, el modelo pudo generar múltiples hechos estilizados observados, orientándose específicamente al comportamiento, reglas de decisión y las interacciones de los agentes y el entorno en el que se desempeñan las organizaciones. Esta técnica se basó principalmente en relatos, siendo lo ideal el estudio y desarrollo de varios casos.

Dada la naturaleza teórica y no predictiva del modelo, su aplicación es posible

mediante el diseño y simulación de escenarios. Dichos escenarios permiten ganar una comprensión básica de las dinámicas del aprendizaje y el desaprendizaje en un contexto de competencia y colaboración entre agentes que buscan aprovechar las oportunidades de innovación en un entorno afectado por políticas públicas y decisiones organizacionales. Con base en estas posibilidades de simulación y experimentación el modelo puede contribuir a orientar las políticas públicas y las estrategias organizacionales en un SRI, buscando mejorar su desempeño económico e innovador a través del análisis y la evaluación de un conjunto de políticas con el ánimo de valorar su efecto en el desempeño económico del sistema. El objetivo es estimular los agentes competidores del sistema a través de políticas o incentivos que proporcionan mayores ingresos por cada atributo de explotación, exploración o ambos, para conocer y comprender aquellos comportamientos en los que se puedan proporcionar mayores dinámicas innovadoras y de aprendizaje interactivo, la evolución y sostenibilidad del sistema. Por último, este trabajo contribuye a desarrollar los modelos de simulación basados en agentes que reporta la literatura. El modelo hace contribuciones originales en la representación de los agentes y sus procesos de aprendizaje y desaprendizaje, así como en la introducción del principio de racionalidad limitada en la toma de decisiones por parte de los agentes de un SI.

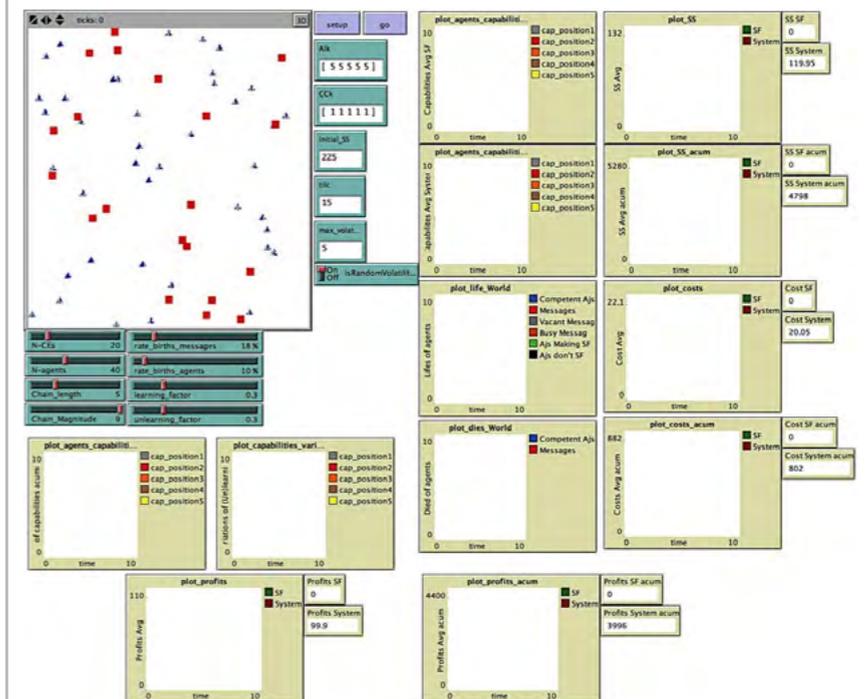
## 6.2. Trabajo futuro

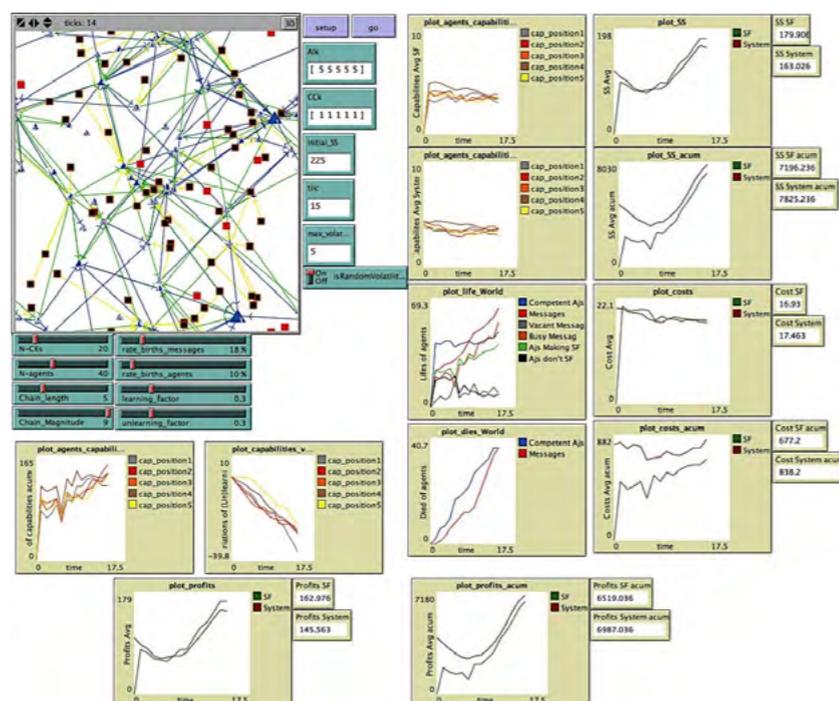
Las orientaciones del trabajo futuro señalan terrenos fértiles en la construcción de teoría en las arenas del aprendizaje y el desaprendizaje que exponen los agentes en un SRI a través de la acumulación o desacumulación de sus capacidades. En este mismo sentido, se abre un mar de posibilidades para evaluar un conjunto de políticas con el ánimo de valorar su efecto en el desempeño económico de los SRI, con el objetivo de estimular los agentes competidores del sistema a través de incentivos que proporcionen mayores ingresos por cada atributo de explotación y exploración, para conocer y comprender comportamientos en los que se puedan generar mayores dinámicas innovadoras y de aprendizaje interactivo. Incentivar el sistema productivo regional hacia la explotación (capacidades de mercadeo y producción) y hacia la exploración (capacidades de I+D), brindará mayores dinámicas de aprendizaje interactivo por parte de los agentes del SRI. Tales políticas dinamizan los diferentes agentes del sistema y sus capacidades de innovación tecnológica. Además, son el detonante

para que otras capacidades de innovación que son igualmente importantes mejoren el desempeño del sistema a través del aprendizaje interactivo. La orientación en las decisiones de política y estrategia en un SRI no solo debe pasar por un enfoque que incentive y equilibre la explotación y la exploración, sino también incentivar otras capacidades específicas de innovación tecnológica como lo son las capacidades de direccionamiento estratégico y de gestión de recursos para un mejor desempeño en estos sistemas.

Por último, profundizar en los patrones de especialización a partir del aprendizaje interactivo en las regiones proporcionará un conocimiento en el cambio y la distribución de las características de la población de un SRI, mediante los mecanismos de interacción que contempla el modelo como lo son la selección y la variación. El mecanismo de la herencia, no contemplado en el modelo, podría ser considerado como trabajo futuro para entender mejor cómo se heredan las capacidades bien sea en los nuevos agentes emprendedores, fusiones y adquisiciones a través del aprendizaje interactivo.

## A. Anexo: Interface del modelo: Aprendizaje en los sistemas regionales de innovación: Un modelo basado en agentes





## Bibliografía

- Abernathy, W. J., & Wayne, K. (1974). Limits of the learning curve. *Harvard Business Review*, 52(5): 109. *Harvard Business Review*, 52 (5), 109.
- Adami, C. (1999). *Introduction to Artificial Life*. Springer.
- Adler, P., & Clark, K. B. (1991). Behind the learning curve: A sketch of the learning process. *Management Science*, 37 (3), 267-281.
- Afonso, O., & Leite, R. (2010). Learning-by-doing, technology adoption costs and wage inequality. *Economic Modelling*, 1069-1078.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., & Gilbert, N. (2011). A new model for university-industry links in knowledge-based economies. *Journal of Product Innovation Management*, 27 (2), 218-235.
- Ahrweiler, P., Pyka, A., & Gilbert, N. (2004). Simulating knowledge dynamics in innovation networks (SKIN). En u. R. in: Leombruni R. (Ed.), *The Agent-Based Computational Approach* 284-296. Singapore: World Scientific Press.
- Albino, V., Carbonara, C., & Giannoccaro, I. (2006). Innovation in industrial districts: An agent based simulation model. *International Journal of Production Economics*, 104, 30-45.
- Albino, V., Carbonara, N., & Schiuma, G. (2000). Knowledge in inter-firm relationships of an industrial district. *Industry and Higher Education*, 404-412.
- Alchian, A. (1950). Reliability of Progress Curves in Airframe Production. RAND. Santa Monica California: RAND Corporation.
- Alchian, A. (1963). Reliability of Progress Curves in Air-Frame Production. *Econometrica*, 31 (4), 679-693.
- Alexander, C. (1977). *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Oxford: Oxford University Press.

- Amaral, L., & Ottino, J. (2004). Complex systems and networks: challenges and opportunities for chemical and biological engineers. *Chemical Engineering Science*, 59, 1653 – 1666.
- Amin, A., & Cohendet, P. (1999). Learning and adaptation in decentralized business networks, *Environment and Planning D: Society and Space*, v.17, n.1, 87-104, 1999. *Environment and Planning D: Society and Space*, 17 (1), 87-104.
- Anand, V., Manz, C., & Glick, W. (1998). An organizational memory approach to information management. *Academy of Management Review*, 23 (4), 796–809.
- Antonelli, C., & Ferraris, G. (2011). Innovation as an Emerging System Property: An Agent Based Simulation Model. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 14 (2).
- Archibugi, D., Howells, J., & Michie, J. (1999). Innovation systems and policy in a global economy. En D. Archibugi, J. Howells, & J. Michie (Edits.), *Innovation Policy in a Global Economy* (pág. 296). Cambridge University Press.
- Argote, L. (1999). *Organizational Learning: Creating, Retaining, and Transferring Knowledge*. Boston: Kluwer Academic.
- Argote, L., Beckman, S. L., & Epple, D. (1990). The persistence and transfer of learning in industrial settings. *Management Science*, 36 (2), 140–155.
- Arifovic, J., & Karaivanov, A. (2010). Learning by doing vs. learning from others in a principal agent model Vol 34, Issue 10, pp. 1967–1992. *Journal of Economic Dynamics & Control*, 34 (10), 1967–1992.
- Arrow, K. J. (1962). The Economic Implications of Learning by Doing. *The Review of Economics Studies*, 29 (3), 155-173.
- Arthur, W., Durlauf, S., & Lane, D. (1997). *The Economy as an Evolving Complex System*. California, CA: Addison-Wesley Longman.
- Asheim, B., & Coenen, L. (2004). The role of regional innovation systems in a globalizing economy: Comparing knowledge bases and institutional frameworks of Nordic clusters, Denmark. *Paper prepared for the conference "Regionalization of Innovation Policy – Options and Experiences" organized by the German Institute for Economic Research (DIW Berlin)*, 1-27.
- Asheim, B., Coenen, L., Moodysson, J., & Vang, J. (2007). Constructing knowledge-based regional advantage: Implications for regional innovation policy», *International Journal of Entrepreneurship & Innovation Management*, Vol. 7, 140-155. 7, 140-155.
- Asheim, B., Cooke, P., & Martin, R. (2006). *Clusters and Regional Development: Critical Reflections and Explorations*. London: Routledge Taylor & Francis Group.
- Asheim, B. T., & Gertler, M. S. (2004). The geography of innovation: regional innovation systems. En J. Fagerberg, D. C. Mowery, & R. R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation* 291-317. Oxford: Oxford University Press.
- Asheim, B., & Cooke, P. (1999). Local Learning and Interactive Innovation Networks in Global Economy . En E. Malecki, & P. Oinas, *Making Connection: Technological Learning and Regional Economic Change* (págs. 145-178). Vermont, USA: Ashgate Publishing Company Brookfield.
- Asheim, B., & Gertler, M. (2005). The Geography of Innovation. Regional Innovation Systems. En J. Fagerberg, D. Mowery, & R. Nelson, *The Oxford Handbook of Innovation*, 291-317. Oxford: Oxford University Press.
- Asheim, B., & Isaksen, A. (2002). Regional Innovation Systems: The Integration of Local "Sticky" and Global "Ubiquitous" Knowledge. *Journal of Technology Transfer*, 27, 77-86.
- Asheim, B., & Isaksen, A. (2003). SMEs and the Regional Dimension of Innovation . En B. Asheim, A. Isaksen, C. Nauwelaers, & F. Tödtling , *Regional Innovation Policy for Small-Medium Enterprises*. Northampton, MA, USA: Edward Elgar Publishing Inc.
- Asher, H. (1956). *Cost-Quantity Relationships in the Airframe Industry*. Santa Monica California: RAND Corporation.
- Autio, E. (1998). Evaluating of RTD in Regional Systems of Innovation. *European Planning Studies*, 6 (2), 131-140.
- Axelrod, R. (1996). The Complexity of Cooperation: Agent-Based Models of Competition and Collaboration. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 1-9.
- Axelrod, R., & Lesfatsion, L. (2005). *On-Line Guide for Newcomers to AMB. Econ*. Recuperado el 19 de Enero de 2015, de On-Line Guide for Newcomers to Agent-Based Modeling in the Social Sciences: <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/abmread.htm>
- Axelrod, R. (2007). Simulation in the Social Sciences. En J. Rennard, *Handbook of Research on Nature Inspired Computing for Economy and Management*, 90-100. London: Idea Group Reference.
- Axtell, R. (2000). Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences. En C. Macal, & D. Sallach, *Proceedings of the Workshop on Agent Simulation: Applications, Models, and Tools* (3-24). Argonne, IL: Argonne National Laboratory.
- Aydalot, P. (1986). *Milieux innovateurs en Europe [Innovative 'Milieux' in Europe]*. Paris: Groupe de Recherche Europe' en sur les Milieux Innovateurs (GREMI).
- Aydalot, P., & Keeble, D. (1988). High Technology Industry and Innovative environments: The European Experience. London: Routledge.
- Bailey, C. (1989). Forgetting and the learning curve: A laboratory study. *Management Science*, 35 (3), 340-352.
- Barlas, Y. (1996). Formal aspects of model validity and validation in system dynamics. *System Dynamics Review*, 12 (3), 183-210.
- Barney, J. (1991). Firm Resources and Sustained Competitive Advantage. *Journal of Management*, 17, 99-120.
- Bathel, H. (2003). Geographies of production: growth regimes in spatial perspective (I) innovation, institutions and social systems. *Progress in Human Geography*, 27 (6), 763-778.
- Bathel, H. (2004). Geographies of production: growth regimes in spatial perspective (II) knowledge creation and growth in clusters. *Progress in Human Geography*, 29 (2), 204-216.

- Bauer, J., & Snow, C. (1996). Responding to hipercompetition: The structure and process of a regional learning network organization. *Organization science*, 7 (4), 413-427.
- Bayus, B. L. (1997). Speed-to-market and new product performance trade-offs. *Journal of Product Innovation Management*, 14 (6), 485-497.
- Begun, J., Zimmerman, B., & Dooley, K. (2003). Health Care Organizations as Complex Adaptive Systems. . En S. Mick, & M. Wyttenbach, *Advances in Health Care Organization Theory*, 253-288. San Francisco: Jossey-Bass.
- Bell, M., Ross-Larson, B., & Westphal, L. E. (1984). Assessing the Performance of Infant Industries. *Journal of Development Economics*, 16, 101-128.
- Bell, M. (1984). Learning and the Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries. En K. King, & M. Fransman, *Technological Capacity in the Third World* 187-209. London: Macmillan.
- Bell, M., & Pavitt, K. (1993). Technological Accumulation and Industrial Growth: Contrasts Between Developed and Developing Countries. *Industrial and Corporate Change*, 2 (2), 157-210.
- Bell, M., & Pavitt, K. (1995). The Development of Technological Capabilities Competitiveness. *Trade, Technology and International Competitiveness*, 69-101.
- Belderbos, R., Carree, M., Diederer, B., Lokshin, B., & Veugelers, R. (2004). Heterogeneity in R&D cooperation strategies. *International Journal of Industrial Organization*, 22 (8-9), 1237-1263.
- Benkard, C. L. (2000). Learning and forgetting: The dynamics of aircraft production. *American Economic Review*, 90 (4), 1034-1054.
- Berg Jensen, M., Johnson, B., Lorenz, E., & Lundvall, B.-Å. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, 36, 680-693.
- Bernathy, W. (1978). *The Productivity Dilemma*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller Publisher.
- Besanko, D., Doraszelski, U., Kryukov, Y. S., & Satterthwaite, M. (2010). Learning-by-doing, organizational forgetting, and industry dynamics. *Econometrica*, 78, 453-521.
- Bettis, R., & Prahalad, C. K. (1995). The dominant logic: Retrospective and extension. *Strategic Management Journal*, 16, 5-14.
- Bettis, R. A., Wong, S., & Blettner, D. (2011). Dominant logic, knowledge creation and managerial choice. En M. Easterby-Smith, & M. A. Lyles, *Handbook of Organizational Learning and Knowledge* (1-721). New York: Wiley-Blackwell.
- Bettis, R., Bradley, S., & Hamel, G. (1992). Outsourcing and industrial decline. *Academy of Management Executive*, 6 (1), 7-22.
- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-Based Modeling: Methods and Techniques for Simulating Human Systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99 (suppl. 3):7280-7287. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, (7280-7287).
- Borrelli, F., Ponsiglione, C., Iandoli, L., & Giuseppe, Z. (2005). Inter-Organizational Learning and Collective Memory in Small Firms Clusters: an Agent-Based Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 8 (3), 1-15.
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004). From System Dynamics and Discrete Event to Practical Agent Based Modeling: Reasons, Techniques, Tools. *The 22nd International Conference of the System Dynamics Society*. Oxford.
- Boschma, R. (2005). Proximity and innovation: A critical assessment. *Regional Studies*, 39 (1), 61-74.
- Braczyk, H., Cooke, P., & Heidenreich, M. (2004). *Regional Innovation Systems: The Role of Governance in a Globalized World*. London, UK: Routledge Taylor & Francis e-Library.
- Breschi, S., & Malerba, F. (1997). Sectoral Innovation Systems: Technological Regimes Schumpeterian Dynamics, and Spatial Boundaries. En C. Edquist, *Systems of Innovation. Technologies, Institutions and Organizations*, 130-156. London and New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Bruderer, E., & Singh, J. S. (1996). Organizational evolution, learning, and selection: A genetic-algorithm-based model. *Academy of Management Journal*, 39, 1322-1349.
- Brusco, S. (1990). The Idea of the Industrial District: Its genesis. En F. Pyke, G. Becattini, & W. Sengenberger, *Industrial districts and inter-firm co-operation in Italy* (1-237). Genova, Italia: International Institute for Labour Studies.
- Buesa, M., Heijs, J., & Baumert, T. (2010). The determinants of regional innovation in Europe: A combined factorial and regression knowledge production function approach. *Research Policy*, 39, 722-735.
- Buesa, M., Heijs, J., Martinez, M., & Baumert, T. (2006). Regional systems of innovation and the knowledge production function: the Spanish case. *Technovation*, 26, 463-472.
- Bzhalava, L. (2015). The Innovative Performance of R&D Outsourcing. *Journal of Innovation Management*, 3 (4), 70-95.
- Cantner, U., Meder, A., & terWal, A. (2010). Innovator networks and regional knowledge base. *Technovation*, 30, 496-507.
- Carley, K. M. (1992). Organizational learning and personnel turnover. *Organization Science*, 3 (1), 20-46.
- Carlson, J. G., & Rowe, A. J. (1976). How much does forgetting cost? *Industrial Engineering*, 8 (9), 40.
- Carlson, J. G. (1961). How Management Can Use the Improvement Phenomenon. *Management Review*, 3 (2), 83-94.
- Carlson, J. (1973). Cubic Learning Curves: Precision Tool for Labor Estimating. *Manufacturing Engineering and Management*, 71 (5), 22-25.
- Carlsson, B., Jacobsson, S., Holmén, M., & Rickne, A. (2002). Innovation systems: analytical and methodological issues. *Research Polic*, 31, 233-245.

- Carlsson, B. (2006). Internationalization of innovation systems: A survey of the literature. *Research Policy*, 35, 56–67.
- Carlsson, B., & Stankiewicz, R. (1991). On the Nature, Function and Composition of Technological Systems. *Journal of Evolutionary Economics*, 1, 93-118.
- Carrillo, J. E., & Franza, R. M. (2006). Investing in product development and production capabilities: The crucial linkage between time-to-market and ramp-up time. *European Journal of Operational Research*, 171 (2), 536-556.
- Chaminade, C., & Vang, J. (2008). Globalisation of knowledge production and regional innovation policy: Supporting specialized hubs in the Bangalore software industry. *Research Policy*, 37, 1684–1696.
- Checkland, P. (1993). *System Thinking, System Practice*. New York, EEUU.: John Wiley.
- Chen, J., Damanpour, F., & Reilly, R. R. (2010). Understanding antecedents of new product development speed: A meta-analysis. *Journal of Operations Management*, 28 (1), 17-33.
- Chen, K., & Guan, J. (2011). Mapping the functionality of China's regional innovation systems: A structural approach. *China Economic Review*, 22 (1), 11–27.
- Coenen, L., & Asheim, B. (2006). Constructing advantage at the northern edge. En Cooke, P. & Piccoluga, A., P. Cooke, & A. Piccoluga, *Regional development in the knowledge economy*, 84-111. New York, USA: Routledge.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly Special Issue: Technology, Organizations, and Innovation*, 35 (1), 128-152.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: The two faces of R&D. *The Economic Journal*, 99, 569-596.
- Collis, D. J. (1994). How valuable are organizational capabilities? *Strategic Management Journal*, 15, 143-153.
- Cooke, P., Boekholt, P., & Todtling, F. (2000). *The Governance of Innovation in Europe. Regional Perspective on Global Competitiveness*. London, UK: London: Pinter.
- Cooke, P., Gómez, U., & Etxebarria, G. (1997). Regional innovation systems: Institutional and organizational dimensions. *Research Policy*, 26, 475-491.
- Cooke, P. (2001). Regional Innovation Systems, Clusters, and the Knowledge Economy. *Industrial and Corporate Change*, 10 (4), 945-974.
- Cooke, P., & Memedovic, O. (2006). Regional Innovation Systems as Public Goods. *UNIDO Policy Papers*, 1-33.
- Cooke, P., & Morgan, K. (1998). *The associational economy. Firms, Regions, and Innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Cooke, P., De Laurentis, C., Todtling, F., & Tripp, M. (2009). Regional Knowledge Economies: Markets, Clusters and Innovation. *Journal of Regional Science*, 49 (2), 397-399.
- Crossan, M., Lane, H., & White, R. E. (1999). An Organizational Learning Framework. *Organizational Learning: From Intuition to Institution. Academy of Management Review*, 24 (3), 522–537.
- Cyert, R., & March, J. (1999). *A behavioral theory of the firm (Segunda ed., Vol. 1)*. Massachusetts: Blackwell Publishers Inc.
- Dahlman, C., Ross-Larsen, B., & Westphal, L. E. (1987). Managing Technological Development. *World Development*, 15 (6), 759-775.
- Damper, R. (2000). Emergence and levels of abstraction. *International Journal of Systems Science*, 31 (7), 811–818.
- Darr, E., Argote, L., & Eppler, D. (1995). The acquisition, transfer and depreciation of knowledge in service organizations: Productivity in franchises. *Management Science*, 41 (1), 1750-1762.
- Davis, J., Eisenhardt, K., & Bingham, B. C. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32 (2), 480-499.
- Day, G. (1994). The capabilities of market-driven organizations. *Journal of Marketing*, 58, 37-52.
- Devadas Rao, R., & Argote, L. (2006). Organizational learning and forgetting: The effects of turnover and structure. *European Management Review*, 3 (2), 77–85.
- De Wolf, T., & Holvoet, T. (2005). Emergence versus self-organisation: different concepts but promising when combined. En S. Brueckner, G. Serugendo, & A. Karageorgo, *Proceedings of the Workshop on Engineering Self Organising Applications (Vol. 3464 of Lecture Notes in Computer Science, págs. 1–15)*. Springer.
- Dodgson, M. (1993). Organizational Learning: A review of some literatures. *Organization Studies*, 14, 375-394.
- Doing Business. (2013). Grupo del Banco Mundial: Doing Business. Recuperado el 15 de 04 de 2015, de doingbusiness.or: <http://espanol.doingbusiness.org/data/exploretopics/entrepreneurship>
- Doloreux, D. (2002). What we should know about regional systems of innovation. *Technology in Society*, 24, 243-263.
- Doloreux, D. (2005). Regional innovation systems: Current discourse and unresolved issues. *Technology in Society*, 27, 133-153.
- Doloreux, D., & Parto, S. (2005). Regional innovation systems: Current discourse and unresolved issues. *Technology in Society*, 27, 133-153.
- Dordrecht, Heidelberg, London New York: *Understanding Complex Systems*. Springer: Complexity.
- Dosi, G. (1988). Sources, procedures and microeconomic effects of innovation. *Journal of Economic Literature*, 26, 126–171.
- Dosi, G. (1988). Sources, Procedures, and Microeconomic Effects of Innovation. *Journal of Economic Literature*, 1120-1171.
- Dutrénit, G. (2000). Learning and knowledge management in the firm. From Knowledge accumulation to strategic capabilities. Cheltenham, UK: Edward Elgar.
- Dutrénit, G. (2009). MPRA Munich Personal RePEc Archive. Recuperado el 31 de Agosto de 2015, de IDEAS: [https://mpra.ub.uni-muenchen.de/31984/1/MPRA\\_paper\\_31984.pdf](https://mpra.ub.uni-muenchen.de/31984/1/MPRA_paper_31984.pdf)

- Easterby-Smith, M., Graça, M., Antonacopoulou, E., & Ferdinand, J. (2008). Absorptive capacity: A process perspective. *Management Learning*, 39, 483-501.
- Ebbinghaus, H. (1964). *On memory*. New York: Dover Edition.
- Ebrahim, N., Ahmed, S., & Taha, Z. (2009). Virtual teams: a literature review. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 3 (3), 2653-2669.
- Edquist, C. (1997). *System of Innovation: Technologies, Institutions and Organisations*. (C. Edquist, Ed.) London: Pinter/Cassell.
- Edquist, C. (2001). The Systems of Innovation Approach and Innovation Policy: An account of the state of the art. DRUID Conference, 'National Systems of Innovation, Institutions and Public Policies', 1-24. Aalborg.
- Eigen, M., & Schuster, P. (1979). *The Hypercycle: A principle of Natural Self-Organization*. New York: Springer-Verlag.
- Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). Dynamic capabilities: What are they? *Strategic Management Journal*, 21, 1105-1121.
- Ekboir, J. M., & Vera-Cruz, A. O. (2012). Intermediary organisations to foster the agricultural system of innovation: the Mexican Produce Foundation. *Int. J. Technological Learning, Innovation and Development*, 5 (1/2), 111-125.
- Ellison, G., & Glaeser, E. (1999). The Geographic Concentration of Industry: Does Natural Advantage Explain Agglomeration? *The American Economic Review*, 89 (2), 311-316.
- Ellström, P.-E. (1997). The many meanings of occupational competence and qualification. *Journal of European Industrial Training*, 21, 266-273.
- Enright, M. (1999). Regional clusters and firm strategy. En A. Chandler, P. Hagstrom, & O. Solvell, *The Dynamic Firm: The Role of Technology, Organisation and Regions*, 1-469. Oxford: Oxford University Press.
- Epstein, J. M., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Science from the Bottom Up*. Massachusetts, Washington, USA: The Brookings Institutions.
- Ernst, D., Mytelka, L., & Ganiatsos, T. (1998). Technological capabilities in the context of export-led growth. A conceptual framework. En D. Ernst, T. Ganiatsos, & L. Mytelka (Edits.), *Technological Capabilities and Export Success in Asia*, 5-45. London and New York: Routledge.
- Evangelista, R., Iammarino, S., & Mastrostefano, V. (2002). Looking for regional systems of innovation. Evidence from the Italian innovation survey. *Regional Studies*, 36 (2), 173-186.
- Fang, S. R., Fang, S. C., Chou, C. H., Yang, S. M., & Tsai, F. S. (2011). Relationship learning and innovation: The role of relationship specific memory. *Industrial Marketing Management*, 40 (5), 743-753.
- Forrester, J. W. (1994). System dynamics, systems thinking, and soft OR. *System Dynamics Review*, 10 (2-3), 245-256.
- Fransman, M. (1986). International competitiveness, technical change and the state: The machine tool industry in Taiwan and Japan. *World Development*, 14 (12), 1375-1396.
- Fransman, M. (1994). Information, Knowledge, Vision and Theories of the Firm. *Industrial and Corporate Change*, 3 (2), 1-45.
- Freeman, C., & Perez, C. (1988). Structural crisis of adjustment: Business cycles and investment behavior. En G. Dosi, C. Freeman, R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete, *Technological Change and Economic Theory*, 38-66. London, UK: UK & New York: Pinter.
- Freeman, C. (1987). *Freeman, C. 1987. Technology Policy and Economic Performance: Lessons from Japan*. London: Frances Pinter Publishers.
- Fritsch, M., & Slavtchev, V. (2007). Industry Specialization, Diversity and the Efficiency of Regional Innovation Systems. *Jena Economic Research Papers*, 1-27.
- Fritsch, M., & Slavtchev, V. (2011). Determinants of the Efficiency of Regional Innovation Systems. *Regional Studies*, 45 (7), 905-918.
- García, R. (2005). Uses of Agent-Based Modeling in Innovation/New Product Development Research. *Journal of Product Innovation Management*, 22, 380-398.
- Gavetti, G., & Levinthal, D. (2000). Looking forward and looking backward: Cognitive and experiential search. *Administrative Science Quarterly*, 45, 113-137.
- Gell-Mann, M. (1995). *What is complexity? (Vol. 1)*. John Wiley and Sons, Inc.
- Gilbert, N., Pyka, A., & Ahrweiler, P. (2001). Innovation Networks A Simulation Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4 (3).
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., & Pyka, A. (2007). Learning in Innovation Networks, Some Simulation Experiment. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 374 (1), 100-109.
- Gilbert, N. (2008). *Agent Based Models. Series: Quantitative Applications in the Social Sciences*. London: SAGE Publications.
- Gilley, K., & Rasheed, A. (2000). Making more by doing less: an analysis of outsourcing and its effects on firm performance. *Journal of Management*, 26 (4), 763-790.
- Gilsing, V., & Nooteboom, B. (2006). Exploration and exploitation in innovation system: The case of pharmaceutical biotechnology. *Research Policy*, 35, 1-23.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms: In search of optimization and machine learning*. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Gordon, D. (1999). *Ants at Work: How an Insect Society is Organized*. W.W. Norton.
- Gottardi, G. (1997). I distretti industriali. En U. Bertelè, *Cambiamento e innovazione: strategie e politiche per le imprese e per le aree sistema (Vol. 3, 51-84)*. Milano: Quaderni AilG, Studi e Ricerche.
- Grant, R. M. (1996). Toward a Knowledge Based Theory of the Firm. *Strategic Management Journal*, 17, 109-122.
- Grant, R. M. (1991). The resource-based theory of competitive advantage: Implications for strategy formulation. *California Management Review*, 114-135.
- Griffin, A. (2002). Product development cycle time for business-to-business products. *Industrial Marketing Management*, 31 (4), 291-304.

- Grimpe, C., & Kaiser, U. (2010). Balancing internal and external knowledge acquisition: the gains and pains from R&D outsourcing. *Journal of Management Studies*, 47 (8), 1483-1509.
- Guana, J., & Chen, K. (2012). Modeling the relative efficiency of national innovation systems. *Research Policy*, 41 (1), 102-115.
- Hafeez, K., Zhang, Y., & Malak, N. (2002). Determining key capabilities of a firm using analytic hierarchy process. *Journal of Production Economics*, 76, 39-51.
- Hagedoorn, J., Link, A. N., & Vonortas, N. S. (2000). Research partnerships. *Research Policy*, 29 (4-5), 567-586.
- Hakansson, H. (1987). *Industrial technological development. A network approach*. London: Croom Helm.
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1984). Structural inertia and organizational change. *American Sociological Review*, 49, 149-164.
- Hazy, J., Tivnan, B., & Schwandt, D. (2003). *Permeable Boundaries in Organizational Learning: Computational Modeling Explorations. Theme: The Social Processes of OL and KM. Organizational Learning and Knowledge 5th International Conference*, 1-31. Lancaster University.
- Hedberg, B. (1981). How organizations learn and unlearn. En P. Nystrom, & W. Starbuck, *Handbook of Organizational Design*, 3-27. Oxford: Oxford University Press.
- Helfat, C. E., Finkelstein, S., Mitchell, W., Peteraf, M. A., Singh, H., Teece, D. J., y otros. (2007). *Dynamic Capabilities. Understanding Strategic Change In Organizations*. Malden, Oxford and Carlton: Blackwell Publishing.
- Helfat, C., & Winter, S. G. (2011). Untangling dynamic and operational capabilities: Strategy for the (n) ever-changing world. *Strategic Management Journal*, 32, 1243-1250.
- Herriot, S. R., Levinthal, D., & March, J. G. (1975). Learning from Experience in Organizations. *American Economic Review*, 75, 298-302.
- Heylighen, F. (2001). The Science of Self-organization and Adaptivity. En L. D. Kiel (Ed.), *Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity. The Encyclopedia of Life Support Systems*, 1-26. Oxford: Eolss Publishers.
- Hirsch, W. (1952). Manufacturing progress functions. *Review of Economics and Statistics*, 34, 143-155.
- Hobday, M. (1995). East Asian Latecomer Firms: Learning the Technology of Electronics. *World Development*, 27, 1171-1193.
- Hobday, M. (1997). *Innovation in East Asia. The Challenge to Japan*. Cheltenham and Lyme: Edward Elgar.
- Holland, J., & Miller, J. (1991). Artificial Adaptive Agents in Economic Theory. *The American Economic Review*, 81 (2), 365-370.
- Holland, J. (1995). *Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity*. Basic Books.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in natural and artificial systems*. Ann Arbor: University of Michigan Press.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems*. Massachusetts, USA: MIT Press Cambridge.
- Holland, J. H. (2004). *El Orden Oculto: De cómo la adaptación crea la complejidad*. (E. Torres-Alexander, Trad.) México, D.F., México: Fondo de Cultura Económica.
- Howells, J. (1999). Regional Systems of Innovation. In D. Archibugi, J. Howells, & J. Michie, *Innovation Policy in a Global Economy* (pp. 67-93). Cambridge: Cambridge University Press.
- Howells, J., James, A., & Malik, K. (2003). The sourcing of technological knowledge: distributed innovation processes and dynamic change. *R&D Management*, 33 (4), 395-409.
- Howells, J. (2005). Innovation and regional economic development: A matter of perspective? *Research Policy*, 34, 1220-1234.
- Howells, J. (2002). Tacit knowledge, innovation and regional economic geography. *Urban Studies*, 39 (5), 871-884.
- Iammarino, S. (2005). An evolutionary Integrated View of Regional Systems of Innovation: Concepts, Measures and Historical Perspectives. *European Planning Studies*, 13 (4), 497-519.
- Izquierdo, L., Galán, J., Santos, J., & Olmos, R. (2008). Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas. *Metodología de Ciencias Sociales*, 85-112.
- Jensen, M., Johnson, B., Lorenz, E., & Lundvall, B.-A. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, 36, 680-693.
- Kapetanios, E. (2008). Quo Vadis computer science: From Turing to personal computer, personal content and collective intelligence. *Data & Knowledge Engineering*, 68, 286-292.
- Katz, J. (1976). Importación de tecnología. Aprendizaje e industrialización dependiente.
- Katz, J. (1984). Domestic Technological Innovations and Dynamic Comparative Advantage: Further Reflections on a Comparative Case-Study Program. *Journal of Development Studies*, 16 (1-2), 13-38.
- Katz, J. (11 de 02 de 1986). Desarrollo y Crisis de la Capacidad Tecnológica Latinoamericana. (BID, CEPAL, CIID, & PNUD, Productores) Recuperado el 11 de 02 de 2014, de CEPAL: <http://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/publicaciones/xml/8/25618/P25618.xml&xsl=/argentina/tpl/p9f.xsl>
- Katz, J. (1987). *Technology Generation in Latin American Manufacturing Industries*. London: Macmillan. London: Macmillan Press.
- Kauffman, S. (1996). *At home in the universe*. London: Penguin.
- Kauffman, S. (2000). *Investigations*. Oxford: Oxford University Press.
- Kedia, B. L., & Bhagat, R. S. (1988). Cultural constraints on transfer of technology across nations: Implications for research in international and comparative management. *The Academy of Management Review*, 13 (4), 559-571.
- Kessler, E., & Chakrabarti, A. (1996). Innovation speed: a conceptual model of context, antecedents and outcomes. *Academy of Management Review*, 21, 1143-1191.

- Kiesler, S., & Sproull, L. (1982). Managerial response to changing environments: Perspectives on problem sensing from social cognition. *Administrative Science Quarterly*, 27 (4), 548-570.
- Kim, L. (1999). *Learning and Innovation in Economic Development*. Northampton, MA: Edward Elgar Publishing Limited.
- Kim, L. (1997). *Imitation to Innovation. The Dynamics of Korea's Technological Learning*. Boston, MA: Harvard Business School Press.
- King, S., & Burgess, T. (2006). Beyond critical success factors: A dynamic model of enterprise system innovation. *International Journal of Information Management*, 26, 59-69.
- Klerkx, L., & Leeuwis, C. (2009). Establishment and embedding of innovation brokers at different innovation system levels: Insights from the Dutch agricultural sector. *Technological Forecasting & Social Change*, 76, 849-860.
- Krishnan, V., & Ulrich, K. T. (2002). Product development decisions: A review of the literature. *Management Science*, 47 (1), 1-21.
- Krugman, P. (1993). *Geography and Trade*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, II eds.
- Kucharavy, D., & De Guio, R. (2007). APPLICATION OF S-SHAPED CURVES. TRIZ-Future Conference, 81-88. Frankfurt: Current Scientific and Industrial Reality.
- L. S. Sproull, *Organizational Learning* (págs. 175-187). California: Sage Publications.
- Lagendijk, A., & Lorentzn, A. (2007). Proximity, Knowledge and Innovation in Peripheral Regions. On the Intersection between Geographical and Organizational Proximity. *European Planning Studies*, 15 (4), 457-466.
- Lall, S. (1993). Technological Capabilities. En J. J. Salomon, *The Uncertain Question: Science, Technology and Development* 264-301. Tokyo: United Nations University Press.
- Lall, S. (1987). *Learning to Industrialize: The Acquisition of Technological capability by India*. London: Macmillan Press.
- Lall, S. (1992). Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, 20 (2), 165-186.
- Lau, A., & Lo, W. (2015). Regional innovation system, absorptive capacity and innovation performance: An empirical study. *Technological Forecasting & Social Change*, 92, 99-114.
- Lall, S. (1980). Developing Countries as Exports of Industrial Technology. *Research Policy*, Vol. 9, 24-52. *Research Policy*, 9, 24-52.
- Lall, S. (1992). Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, 20 (2), 165-186.
- Lane, P. J., Koka, B. R., & Pathak, S. (2006). The reification of absorptive capacity: A critical review and rejuvenation of the construct. *Academy of Management Review*, 31 (4), 833-863.
- Lättilä, L., Hilletoft, P., & Lin, B. (2010). Hybrid simulation models – When, Why, How? *Expert Systems with Applications*, 37, 7969-7975.
- Lau, A., & Lo, W. (2015). Regional innovation system, absorptive capacity and innovation performance: An empirical study. *Technological Forecasting & Social Change*, 92, 99-114.
- Lengyel, B., & Leydesdorff, L. (2011). Regional innovation systems in Hungary: The failing synergy at the national level. *Regional Studies*, 45 (5), 677-693.
- Leonard-Barton, D. (1995). Core Capabilities and Core Rigidities: a Paradox in Managing New Product Development. *Strategic Management Journal*, 13, 111-125.
- Levinthal, D. (1997). Adaptation on rugged landscapes. *Management Science*, 43, 934-950
- Lévy, P. (2010). From social computing to reflexive collective intelligence: The IEML research program. *Information Sciences*, 180, 71-94.
- Leydesdorff, L. (2012). The Triple Helix, Quadruple Helix, ..., and an N-Tuple of Helices: Explanatory Models for Analyzing the Knowledge-Based Economy? *Journal of the Knowledge Economy*, 25-35.
- Leydesdorff, L., & Fritsch, M. (2006). Measuring the knowledge base of regional innovation systems in Germany in terms of a Triple Helix dynamics. *Research Policy*, 35, 1538-1553.
- Lipparini, A., & Lorenzoni, G. (1996). Le organizzazioni ad alta intensità relazionale. Riflessioni sui processi di learning by interacting nelle aree ad alta concentrazione di imprese. *L'Industria* v. 4, 817-839, 1996. *L'Industria*, 4, 817-839.
- Llisterri, J., & Pietrobelli, C. (2011). *Los Sistemas Regionales de Innovación en América Latina*. (J. Llisterri, & C. Pietrobelli, Edits.) Washington, D.C.: Banco Interamericano de Desarrollo BID.
- Lomi, A., & Larsen, E. (1996). Interacting locally and evolving globally: A computational approach to the dynamics of organizational populations. *Academy of Management Journal*, 39, 1287-1321.
- Lorenz, E. (1963). Deterministic nonperiodic flow. *Journal of Atmospheric Science*, 20, 282-291.
- Lorenz, E., & Lundvall, B.-Å. (2006). *How Europe's Economies Learn: Coordinating Competing Models*. Oxford: Oxford University Press.
- Lund, R. (2004). The Organization of Actors' Learning in Connection with New Product Development. En J. L. Christensen, & B.-Å. Lundvall (Edits.), *Product Innovation, Interactive Learning and Economic Performance* (págs. 129-153). Bingley: Emerald.
- Lundvall, B.-A. (2007). National Innovation Systems - Analytical Concept and Development Tools. *Industry and Innovation*, 14 (1), 95-119.
- Lundvall, B.-A. (2004). The Economics of Knowledge and Learning. En C. Jesper Lindgaard, & B.-Å. Lundvall, *Product Innovation, Interactive Learning and Economic Performance* (Vol. 8, 1-361). San Diego, CA, USA: Elsevier Ltd. *Research on Technological Innovation and Management Policy*.
- Lundvall, B.-A. (1992). *National Systems of Innovation: towards a theory of innovation and interactive learning*. London: Pinter, London.
- Lundvall, B.-Å., & Vinding, A. L. (2007). Product Innovation and Economic Theory - User-Producer Interaction in the Learning Economy. En J. L. Christensen, & B.-Å. Lundvall (Edits.), *Product Innovation, Interactive Learning and Economic Performance* (Vol. 8, págs. 101-128). Bingley, UK: Emerald.
- Lundvall, B.-Å., & Johnson, B. (1994). The Learning Economy. *Journal of Industry Studies*, 1 (2), 23-42.

- Lundvall, B.-Å., Intarakumnerd, P., & Vang, J. (2006). *Asia's Innovation Systems in Transition*. UK • Northampton, MA, USA: Edward Elgar Cheltenham.
- Lundvall, B.-A. (1988). Innovation as an interactive process: from user producer interaction to the National Innovation Systems. En G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, & G. Silverberg, *Technology and Economic Theory*. London: Pinter Publishers.
- Lundvall, B.-A. (1985). *Product Innovation and User-Producer Interaction*. Aalborg: Aalborg University Press.
- Lykourantzou, I., Papadaki, K., Vergados, D., Polemi, D., & Loumos, V. (2010). CorpWiki: A self-regulating wiki to promote corporate collective intelligence through expert peer matching. *Information Sciences*, 180, 18–38.
- Ma, T., & Nakamori, Y. (2005). Agent-based modeling on technological innovation as an evolutionary process. *European Journal of Operational Research*, 166, 741–755.
- Mackinnon, D., Cumbers, A., & Chapman, K. (2002). Learning, innovation and regional development: a critical appraisal of recent debates. *Progress in Human Geography*, 26, 293-311.
- Maier, F. (1998). New product diffusion models in innovation management a system dynamics perspective. *System Dynamics Review*, 14 (4), 285-308.
- Malberg, A., & Maskell, P. (1997). Towards an explanation of regional specialization and industrial agglomeration. *European Planning Studies*, 5 (1), 25-41.
- Malerba, F. (2004). Sectoral Systems of Innovation: basic concepts. En F. Malerba (Ed.), *Sectoral Systems of Innovation* (págs. 9-35). New York: Cambridge University Press.
- Malerba, F. (2002). Sectoral systems of innovation and production. *Research Polic*, 31, 247–264.
- Malerba, F., Nelson, R., Orsenig, L., & Winter, S. (2001). Competition and industrial policies in a 'history friendly' model of the evolution of the computer industry. *International Journal of Industrial Organization*, 19, 635–664.
- Malerba, F., Nelson, R., Orsenigo, L., & Winter, S. (2008). Public policies and changing boundaries of firms in a "history-friendly" model of the co-evolution of the computer and semiconductor industries. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 67, 355–380.
- March, J. (1991). Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organization Science*, 2 (1), 71-87.
- March, J., & Simon, H. (1959). Organizations. *Administrative Science Quarterly*, 4 (1), 129-131.
- Markman, G. D., Gianiodis, P. T., Phan, P. H., & Balkin, D. B. (2005). Innovation speed: Transferring university technology to market. *Research Policy*, 34, 1058-1075.
- Marshall, A. (1919). *Industry and Trade*. London: MacMillan.
- Martin de Holan, P., & Phillips, N. (2004). Organizational forgetting as strategy. *Strategic Organization*, 2, 412-430.
- Maskell, P., & Malmberg, A. (1999). Localised learning and industrial competitiveness. *Cambridge Journal of Economics*, 167-185.
- Maskell, P., Bathel, H., & Malberg, A. (2006). Building Global Knowledge Pipelines: The Role of Temporary Clusters. *European Planning Studies*, 14 (8), 997-1013.
- Mc Millan, E. (2004). *Complexity, Organizations and Change*. New York: Routledge Publications.
- Melkas, H., Parjanen, S., & Uotila, T. (2011). Distances, Knowledge Brokerage and Absorptive Capacity in Enhancing Regional Innovativeness: A Qualitative Case Study of Lahti Region, Finland. *European Planning Studies*, 19 (6), 921-948.
- Miller, D. (1993). The architecture of simplicity. *Academy of Management Review*, 18 (1), 116-138.
- Miller, D. (1994). What happens after success: The perils of excellence. *Journal of Management Studies*, 31 (3), 327–358.
- Mintzberg, H. (1978). Patterns in strategy formation. *Management Science* XXIV, 9, 934-948.
- Mintzberg, H. (1987). The strategy concept I: Five ps for strategy. *California Management Review*, 11-24.
- Mintzberg, H. (1990). The design school: reconsidering the basic premises of strategic management. *Strategic Management Journal*, 11, 171-195.
- Montoya, I. (2010). Una contribución a la comprensión de las estrategias deliberadas y emergentes de las organizaciones, desde una perspectiva evolutiva. Santafé de Bogotá: Tesis presentada a la Universidad Nacional de Colombia para optar al título de Doctor en Ciencias Económicas.
- Morgan, K. (1997). The Learning Region: Institutions, Innovation and Regional Renewal. *Regional Studies*, 31 (5), 491-503.
- Morgan, K. (2004). The exaggerated death of geography: learning, proximity and territorial innovation systems. *Journal of Economic Geography*, 4, 3-21.
- Mostafavi, A., Abraham, D. M., DeLaurentis, D., & Sinfield, J. (2011). Exploring the Dimensions of Systems of Innovation Analysis: A System of Systems Framework. *EEE Systems Journal*, 15 (2), 256-265.
- Moulaert, F., & Mehmood, A. (2010). Analysing Regional Development and Policy: A Structural Realist Approach. *Regional Studies*, 44 (1), 103-118.
- Musiulik, J., Markard, J., & Hekkert, M. (2012). Networks and network resources in technological innovation systems: Towards a conceptual framework for system building. *Technological Forecasting & Social Change*, 79, 1032–1048.
- Nelson, R. R., & Rosenberg, N. (1993). Technical innovation and national systems. En O. (2001a), *Devolution and Globalisation. Implications for local decision-makers*. Paris: OECD.
- Nelson, R. (1993). *National Innovation Systems A Comparative Analysis*. (N. Richard R., Ed.) New York: Oxford University Press.
- Nelson, R. R. (1991). Why do firms differ, and how does it matter? *Strategic Management Journal*, 12, 61-74.
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Boston, MA: The Belknap Press of Harvard University Press.

- Nelson, R. R. (1992). National Innovation Systems: A retrospective on a Study . *Industrial and Corporate Change*, 1 (2), 347-374.
- Newstrom, J. W. (1983). The management of unlearning: Exploding the 'clean slate' fallacy. *Training and Development Journal*, 37 (8), 36-39.
- O'Connor, J., & McDermott, I. (1998). *Introducción al Pensamiento Sistémico*. Barcelona: Ediciones Urano.
- OECD. (2000). *Cities and Regions in the New Learning Economy*. Paris: OECD Publications.
- Ottino, J. (2004). Engineering complex systems. *Nature* 427, 399.
- Padgett, J. F. (1997). The emergence of simple ecologies of skill: a hypercycle approach to economic organization. En W. B. Arthur, S. N. Durlauf, & D. A. Lane (Edits.), *The Economy as an Evolving Complex System II*. Addison-Wesley: Reading MA.
- Padgett, J. F., Lee, D., & Collier, N. (2003). Economic Production as Chemistry. *Industrial and Corporate Change*, 12, 843-877.
- Padgett, J. F., McMahan, P., & Zhong, X. (2009). Economic Production as Chemistry II. Working Papers. Paper 10.
- Padmore, T., Schuetze, H., & Gibson, H. (1998). Modeling systems of innovation: An enterprise - centered view. *Research Policy*, 26, 605-624.
- Padmore, T., & Gibson, H. (1998). Modelling systems of innovation: II. A framework for industrial cluster analysis in regions. *Research Policy*, 625-641.
- Parsons, T. (1951). *The Social System*. New York: Free Press.
- Pavitt, K. (1991). Key Characteristics of the Large Innovating Firms 41-50. *British Journal of Management*, 2, 41-50.
- Penrose, E. (1959). *The Theory of the Growth of the Firm*. New York: John Wiley.
- Penrose, E. (1952). Biological analogies in the theory of the firm. 42 (5), 804-819.
- Pietrobelli, C., & Rabellotti, R. (2011). Global Value Chains Meet Innovation Systems: Are There Learning Opportunities for Developing Countries? . *World Development* , 39 (7), 261-1269.
- Pitelis, C. N. (2007). A Behavioral Resource Based View of the Firm: The Synergy of Cyert and March (1963) and Penrose (1959). *Organization Science*, 18 (3), 478-490.
- Pitelis, C. N. (2007). Edith Penrose and a Learning Based Perspective on the MNE and OLI. *Management International Review*, 47 (2), 207-219.
- Polanyi, M. (2009). *The tacit dimension*. Chicago, IL, USA: University of Chicago Press, edition, 2009.
- Ponsiglione, C., Quinto, I., & Zollo, G. (2014). Bridging the SKIN model to the debate on territorial innovation systems: the proposal of an agent-based model of self-sustained regional innovation systems. 3rd SKIN Workshop: Joining Complexity Science and Social Simulation for Policy (pág. N/A). Budapest: Eötvös Loránd University.
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York, USA: Free Press.
- Prahalad, C. K., & Hamel, G. (1990). The Core Competencies of the Corporation. *Harvard Business Review*, 68 (3), 79-91.
- Pyka, A., Gilbert, N., & Ahrweiler, P. (2007). Simulating Knowledge Generation and Distribution Processes in Innovation Collaborations and Networks. *Cybernetics and Systems*, 38, 667-693.
- Pyka, A., & Scholz, R. (2008). A Narrative Description of the Agent Based NEMO-Model. NEMO-Working paper.
- Pyka, A., Gilbert, N., & Ahrweiler, P. (2009). Agent-Based Modelling of Innovation Networks: The Fairytale of Spillover. En A. Pyka, & A. Scharnhorst (Edits.), *Innovation Networks. New Approaches in Modelling and Analyzing*, 101-126. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Pyka, A., Gilbert, N., & Ahrweiler, P. (2009). Agent-based Modelling of Innovation Networks – the Fairytale of Spillovers. En A. Pyka, A. Scharnhorst, A. Pyka, & A. Scharnhorst (Edits.), *Innovation Networks. New Approaches in Modelling and Analyzing* 101-126. Dordrecht, Heidelberg, London New York: Understanding Complex Systems. Springer: Complexity.
- Quinn, J. (2000). Outsourcing innovation: the new engine of growth. *Sloan Management Review*, 41 (4), 1-13.
- Quinn, J. (1999). Strategic outsourcing: leveraging knowledge capabilities. *Sloan Management Review*, 40 (4), 1-9.
- Radosevic, S. (1999). Transformation of science and technology systems into systems of innovation in central and eastern Europe: the emerging patterns and determinants . *Structural Change and Economic Dynamics*, 277-320.
- Reig Otero, Y., Edwards Schachter, M., Feliú Mingarro, C., & Fernández de Lucio, I. (2014). Generation and Diffusion of Innovations in a District Innovation System: The Case of Ink-Jet Printing. *Journal of Technology Management & Innovation*, 9 (2), 56-76.
- Renard, L., & Saint-Amant, G. (2003). Capacité, capacité organisationnelle et capacité dynamique: une proposition de définitions. *Les Cahiers du Management Technologique*, 13 (1), 1-26.
- Repenning, N. (2002). A simulation-based approach to understanding the dynamics of innovation implementation. *Organization Science*, 13, 109-127.
- Rickne, A. (2001). *Assessing the Functionality of an Innovation System*. DRUID Conference, 1-39. Aalborg, Denmark: Aalborg University.
- Rivkin, J., & Siggelkow, N. (2003). Balancing search and stability: Interdependencies among elements of organizational design 290-311. *Management Science*, 49, 290-311.
- Robledo, J., Gómez, F., & Restrepo, J. (2009). Relación entre capacidades de innovación tecnológica y el desempeño empresarial sectorial. En J. Robledo, F. Malaver, M. Vargas, J. Robledo, F. Malaver, & M. Vargas (Edits.), *Encuestas, datos y descubrimiento de conocimiento sobre la innovación en Colombia*. Bogotá: Javergraf.
- Robledo, J. (2010). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Sede- Medellín Facultad de Minas Departamento de Ingeniería de la Organización.

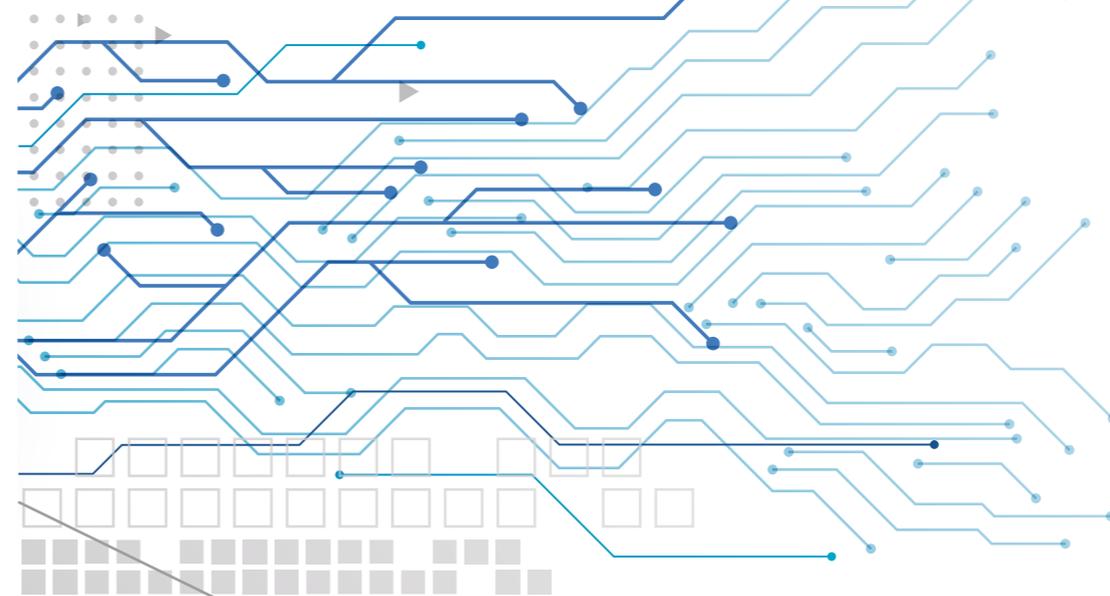
- Robledo, J. (2013). *Introducción a la Gestión de la Tecnología y la Innovación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia Sede - Medellín Facultad de Minas Departamento de Ingeniería de la Organización.
- Robledo, J., & Ceballos, Y. (2008). Study of an innovation process using system dynamics. *Cuadernos de Administración*, 21 (35), 127-159.
- Romanelli, E., & Tushman, M. L. (1986). Inertia, environments, and strategic choice: A quasi-experimental design for comparative-longitudinal research. *Management Science*, 32 (5), 608-622.
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the Black Box: Technology and Economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rothwell, R. (1994). Towards the Fifth-generation Innovation Process. *International Marketing Review*, 11 (1), 7-31.
- Rudolph, J., & Repenning, N. (2002). Disaster dynamics: Understanding the role of quantity in organizational collapse. *Administrative Science Quarterly*, 47, 1-30.
- Rumelt, R. P. (1995). Inertia and transformation. En C. A. Montgomery, *Resource-Based and Evolutionary Theories of the Firm: Towards a Synthesis*, 101-132. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Sakakibara, M. K. (1997). Heterogeneity of firm capabilities and cooperative research and development: An empirical examination of motives. *Strategic Management Journal*, 18 (SPEC. ISS), 143-164.
- Sargent, R. G. (2010). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*, 166-183. Baltimore, Maryland, USA: B. Johansson, S. Jain, J. Montoya-Torres, J. Huan, and E. Yücesan, eds.
- Sarvan, F., Durmu, E., Köksal, C., Gül, B., Dirlik, O., Atalay, M., y otros. (2011). Network based determinants of innovation performance in yacht building clusters, 1671-1685. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 24, 1671-1685.
- Sastry, M. A. (1997). Problems and paradoxes in a model of punctuated organizational change. *Administrative Science Quarterly*, 42, 237-275.
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage. Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press.
- Saxenian, A. (1996). *Regional Advantage: culture and competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge, MA, USA: Harvard University Press.
- Schumpeter, J. A. (1954). *History of Economic Analysis*. New York: Oxford University Press.
- Schumpeter, J. A. (1932). *The Theory of Economic Development*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schut, M. (2010). On model design for simulation of collective intelligence. *Information Sciences*, 180, 132-155.
- Schwandt, D. R., & Marquardt, M. J. (2000). *Organizational Learning: From World-Class Theories to Global Best Practices*. Boca Raton, FL: St. Lucie Press.
- Schwandt, D. R. (1997). Integrating strategy and organizational learning: A theory of action perspective. *Advances in Strategic Management*, 14, 337-360.
- Scott-Kemmis, D., & Bell, M. (1985). *Technological Capacity and Technical Change: Case Studies. Report on a Study of Technology Transfer in the manufacturing Industry in Thailand*, Working Paper.
- Searle, A. D. (1945). Productivity of Labor and Industry. *Monthly Labor Review*, 61 (6), 1132-1147.
- Simon, H. A. (1956). Rational choice and the structure of the environment. *Psychological Review*, 63 (2), 129-138.
- Simon, H. (1996). Bounded Rationality and Organizational Learning. En M. D. Cohen, Simon, H. (1945). *Planning for organization and management*. *Public Management*, 28, 108-111.
- Simon, H. (1961). *Administrative Behavior* (Vol. 2nd edition). New York: John Wiley & Son.
- Squazzoni, F. (2008). The Micro Macro Link in Social Simulation. *Sociologica*, 1, 1-26.
- Sterman, J., Repenning, N., & Kofman, F. (1997). Unanticipated side effects of successful quality programs: Exploring a paradox of organizational improvement. *Management Science*, 43, 503-521.
- Sterman, J. D. (2002). All models are wrong: Reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*, 18, 501-531.
- Sterman, J. (2000). *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston: Irwin/McGraw-Hill.
- Storper, M., & Scott, A. (1988). The geographical foundations and social regulation of flexible production complexes. En J. Wolch, & M. Dear, *The Power of Geography*, 21-40. London: Allen & Unwin.
- Storper, M. (1993). Regional "Worlds" of Production: Learning and Innovation in the Technology Districts of France, Italy and the USA. *Regional Studies*, 27 (5), 433-455.
- Teece, D., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic capabilities and strategic management. *Strategic Management Journal*, 18, 509-534.
- Teece, D. (2007). Teece, D. (2007) Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28, 1319-1350.
- Teece, D. J. (1988). Technological change and the nature of the firm. En G. Dosi, C. Freeman, R. R. Nelson, G. Silverberg, & L. Soete (Edits.), *Technical change and economic theory*. London and New York: Pinter Publisher.
- Teece, D., Rumelt, R., Dosi, G., & Winter, S. (1994). Understanding Corporate Coherence: Theory and Evidence. *Journal of Economic Behaviour and Organization*, 23, 1-30.
- Teece, D. J. (1986). Profiting from Technological Innovation. *Research Policy*, 15 (6), 285-305.
- Terwiesch, C., & Bohn, E. R. (2001). Learning and process improvement during production ramp-up. *International Journal of Production Economics*, 70 (1), 1-19.

- Thompson, P. (2007). How much did the liberty shipbuilders forget? *Management Science*, 53 (6), 908-918.
- Tidd, J., & Bessant, J. (2009). *MANAGING INNOVATION, Integrating Technological, Market and Organization Change*. West Sussex, UK: Jhon Wiley & Sons Ltd.
- Todorova, G., & Durisin, B. (2007). Absorptive capacity: Valuing a reconceptualization. *Academy of Management Review*, 32, 774-786.
- Tödtling, F., & Tripl, M. (2005). Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 34, 1203-1219.
- Tödtling, F., & Tripl, M. (2005). Towards a differentiated regional innovation policy approach. *Research Policy*, 34, 1203-1219.
- Tödtling, F., Lehner, P., & Kaufmann, A. (2009). Do different types of innovation rely on specific kinds of knowledge interactions? *Technovation*, 29, 59-71.
- Torre, A., & Rallet, A. (2005). Proximity and localization, *Regional Studies*. 39 (1), 47-59.
- Triulzi, G., Scholz, R., & Pyka, A. (2011). R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals: An agent-based model. (C. f.-2. Hohenheim, Ed.) Obtenido de <https://ideas.repec.org/p/zbw/fziddp/332011.html>: Retrieved from <http://hdl.handle.net/10419/50176>
- Triulzi, G., Scholz, R., & Pyka, A. (2011). R&D and knowledge dynamics in university-industry relationships in biotech and pharmaceuticals: An agent-based model. FZID discussion papers.
- Tsang, E., & Zahra, S. A. (2008). Organizational unlearning. *Human Relations*. 61, 14-35.
- Uyarra, E. (2010). What is evolutionary about "Regional Systems of Innovation"? Implications for regional policy. *Journal of Evolutionary Economics*, 20 (1), 115-137.
- Uyarra, E., & Flanagan, K. (2010). From regional systems of innovation to regions as innovation policy spaces. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 28 (4), 681-695.
- Van Mierlo, B., Leeuwis, C., Smits, R., & Klein, W. R. (2010). Learning towards system innovation: Evaluating a systemic instrument. *Technological Forecasting & Social Change*, 77, 318-334.
- Vicsek, T. (2002). Complexity: The bigger picture. *Nature* 418, 131.
- Von Neumann, J. (1979). *The Computer and the brain*. New Haven, USA: Yale University Press.
- Von Tunzelmann, N. (2003). Historical coevolution of governance and technology in the industrial revolutions. *Structural Change and Economic Dynamics*, 14, 365-384.
- Von Tunzelmann, N. (2004). Network alignment in the catching-up economies of Europe, in: F. McGowan, S. Radošević & N. von Tunzelmann (Eds) *The Emerging Industrial Structure of the Wider Europe* (London and New York: Routledge). En F. McGowan, S. Radošević, & N. von Tunzelmann, *The Emerging Industrial Structure of the Wider Europe*, 23-35. London and New York.
- Watts, C., & Binder, C. R. (2012). Simulating Shocks with the Hypercycles Model of Economic Production. *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software Managing Resources of a Limited Planet*, 1-9. Leipzig, Germany: R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp (Eds.).
- Westphal, L., Kim, L., & Dahiman, C. (1985). Reflections on the Republic of Korea's Acquisition of Technological Capability. En N. Rosenberg, & C. Frischtak, *International Technology Transfer*, 167-221. New York: Praeger Publishers.
- Wilensky, U. (1999). NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Evanstone, IL: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.
- Windrum, P., Fagiolo, G., & Moneta, A. (2007). Empirical Validation of Agent-Based Models: Alternatives and Prospects. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10 (2), 1-19.
- Winter, S. (2003). Understanding dynamic capabilities. *Strategic Management Journal*, 24, 991-995.
- Winter, S. (2008). Dynamic capabilities as a source of change. En A. Ebner, & N. Beck, *The institutions of the market: Organizations, social systems, and governance*, 1-255. Ebner and N. Beck.
- Winter, S. (2000). The satisficing principle in capability learning. *Strategic Management Journal*, 21, 981-996.
- Wright, T. P. (1936). Factors affecting the costs of airplanes. *Journal of Aeronautical Science*, 3, 122-128.
- Yelle, L. (1979). The learning curve: Historical review and comprehensive survey. *Decision Sciences*, 10, 302-328.
- Zahra, S., & George, G. (2002). Absorptive capacity: A review, reconceptualisation, and extension. *Academy of Management Review*, 27 (2), 185-203.
- Zahra, S., Sapienza, H. J., & Davidsson, P. (2006). Entrepreneurship and dynamic capabilities: A review, model and research agenda. *Journal of Management Studies*, 43, 917-955.
- Zhong, X., & Ozdemir, S. (2010). Structure, learning, and the speed of innovating: a two phase model of collective innovation using agent based modeling. *Industrial and Corporate Change*, 19 (5), 1459-1492.
- Zollo, G., Crescenzo, E., & Ponsiglione, C. (2011). Gap analysis of regional innovation systems (RIS) with medium-low innovative capabilities: the case of campania region (Italy). ESU European University Network on Entrepreneurship Conference. Spain.
- Zott, C. (2002). When adaptation fails: An agent-based explanation of inefficient bargaining under private information. *Journal of Conflict Resolution*, 46, 727-753.

Para ver el código del modelo referirse a este link:

[https://www.researchgate.net/publication/327023308\\_Learning\\_in\\_the\\_Regional\\_Innovation\\_Systems\\_ABM\\_Code\\_Theoretical\\_model\\_figure](https://www.researchgate.net/publication/327023308_Learning_in_the_Regional_Innovation_Systems_ABM_Code_Theoretical_model_figure)

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana</p>	<p>SU OPINIÓN</p>	
<p>Para la Editorial UPB es muy importante ofrecerle un excelente producto. La información que nos suministre acerca de la calidad de nuestras publicaciones será muy valiosa en el proceso de mejoramiento que realizamos. Para darnos su opinión, comuníquese a través de la línea (57)(4) 354 4565 o vía e-mail a <a href="mailto:editorial@upb.edu.co">editorial@upb.edu.co</a>. Por favor adjunte datos como el título y la fecha de publicación, su nombre, e-mail y número telefónico.</p>		



Este libro contribuye a una mejor comprensión de cómo el aprendizaje ayuda a un mejor desempeño en los Sistemas Regionales de Innovación, desde un enfoque de la Modelación Basada en Agentes. El aprendizaje, entendido como un proceso a través del cual las firmas crean conocimiento y adquieren capacidades, es un factor clave a la hora de comprender el esfuerzo voluntario que realizan las firmas, para adquirir las capacidades de innovación necesarias para competir en cualquier sistema de innovación. Dicho enfoque, presenta el aprendizaje como un fenómeno complejo que emerge junto al des-aprendizaje. Modelar y simular el aprendizaje permitió conocer comportamientos emergentes "*Especialización integral y funcional de las capacidades*", producto de las interacciones entre los agentes y el entorno competitivo en el que se desempeñan.

Esta obra se publicó  
en archivo digital en el mes  
de marzo de 2019.

ISBN: 978-958-764-615-3



ISBN: 978-958-764-616-0  
<https://repository.upb.edu.co/>