

TESIS DOCTORAL

HACIA UN MODELO BIOINSPIRADO DEL PROCESO INNOVADOR PARA LOS  
ECOSISTEMAS DE EMPRENDIMIENTO: UNA APROXIMACIÓN DESDE LAS  
EXAPTACIONES

SERGIO ANDRES PULGARIN MOLINA

COLEGIO MAYOR DE NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO

ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN

DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA DIRECCIÓN

BOGOTÁ D.C.

2017

Directora:

Merlin Patricia Grueso PhD

Codirector:

Diego Fernando Cardona PhD

Tesis para optar el grado de Philosophy Doctor en Ciencias de la Dirección  
del Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario

## Índice de contenidos

1.	Introducción .....	1
2.	Aspectos teóricos .....	6
2.1.	La innovación: ¿Una categoría?.....	6
2.1.1.	¿Qué es la innovación? .....	9
2.2.	Tipologías de innovación .....	18
2.2.1.	Tipologías tradicionales para la clasificación de innovaciones. ....	18
2.2.2.	Tipologías alternas de clasificación de innovaciones. ....	21
2.3.	Modelos de proceso innovador .....	29
2.4.	Innovaciones y complejidad.....	40
2.5.	Biología, evolución y transformación: Un marco de referencia para el estudio de las innovaciones .....	47
2.6.	Diversidad e innovaciones .....	58
3.	Problema de investigación .....	69
3.1.	Relevancia de la investigación .....	69
3.2.	Delimitación del problema.....	79
3.2.1.	El proceso innovador en la organización: ¿Un proceso completo? .....	82
3.3.	Preguntas de investigación.....	87
3.4.	Dimensiones de Análisis.....	87
3.5.	Objetivos de la investigación .....	89
3.5.1.	Objetivo general.....	89
3.5.2.	Objetivos Específicos.....	89
3.6.	Relación de la propuesta de investigación con los intereses de investigación en la Escuela.....	90
4.	Aspectos metodológicos .....	93
4.1.	La simulación basada en Agentes .....	94
4.2.	Simulación basada en agentes en las ciencias sociales .....	101
4.2.1.	Ventajas y desventajas de la simulación basada en agentes en Ciencias Sociales.....	116
4.3.	Simulación basada en agentes en el campo de la Administración .....	119
4.4.	La Simulación Basada en Agentes para el estudio de la innovación .....	123
5.	Modelo de proceso innovador en ecosistemas de emprendimiento: Diseño conceptual y mecanismos 127	
5.1.	Modelo conceptual y mecanismos .....	130
5.1.1.	Agentes del modelo.....	132
5.2.	Protocolo de descripción del modelo .....	152

5.3.	Descripción normalizada del modelo de simulación de proceso innovador para ecosistemas de emprendimiento .....	154
5.3.1.	Propósito. ....	154
5.3.2.	Entidades, Variables de estado y escalas. ....	155
5.3.3.	Perspectiva de proceso y programación. ....	164
5.3.4.	Principios fundamentales. ....	164
5.3.5.	Emergencia. ....	165
5.3.6.	Adaptación. ....	166
5.3.7.	Objetivos. ....	166
5.3.8.	Aprendizaje. ....	166
5.3.9.	Interacción.....	167
5.3.10.	Aleatoriedad.....	167
5.3.11.	Inicialización.....	170
5.3.12.	Submodelos.....	171
6.	Experimentos y resultados .....	177
6.1.	Experimentos principales de la investigación .....	181
6.1.1.	Experimento de maximización de innovaciones exaptativas .....	181
6.1.2.	Experimento de maximización de innovaciones totales .....	185
6.2.	Experimentos complementarios de la investigación .....	189
6.2.1.	Experimento de minimización de dinero y maximización de innovaciones exaptativas ..	190
6.2.2.	Experimento de minimización de dinero y maximización de innovaciones en general....	194
7.	Discusión y conclusiones .....	200
7.1.	Maximización de innovaciones exaptativas en el ecosistema de emprendimiento.....	203
7.1.1.	Población e innovaciones exaptativas.....	203
7.1.2.	Centros de emprendimiento e innovaciones exaptativas.....	206
7.1.3.	Afinidad e innovaciones exaptativas.....	210
7.1.4.	Efectividad en la emergencia de innovaciones exaptativas .....	215
7.1.5.	Dinero e Innovaciones exaptativas.....	218
7.2.	Maximización de innovaciones en el ecosistema de emprendimiento.....	223
7.2.1.	Innovaciones adaptativas en el modelo.....	223
7.2.2.	Desempeño y patrones de comportamiento de las innovaciones en la simulación .....	225
7.2.3.	Centros de Emprendimiento e innovaciones.....	228
7.2.4.	Dinero e innovaciones.....	229
8.	Limitaciones del estudio y Futuras Investigaciones.....	233
9.	Referencias.....	236

10.	Anexos .....	252
10.1.	Anexo 1 (resultados de la encuesta aplicada en Wayra Global) .....	252

## Índice de Tablas

Tabla 2.1. Definiciones de la noción de innovación.....	11
Tabla 2.2. Resumen de tipologías de innovación .....	29
Tabla 2.3 Resumen de principales modelos de proceso innovador .....	40
Tabla 4.1. Ventajas de la Simulación Vs otras metodologías.....	117
Tabla 5.1. Resumen de encuesta a emprendedores de Wayra .....	132
Tabla 6.1. Relación de parámetros y rangos de experimentos.....	180
Tabla 6.2. Relación de parámetros y mejores experimentos .....	185
Tabla 6.3. Relación de parámetros y mejores experimentos .....	189
Tabla 6.4 Relación de parámetros y mejores experimentos .....	194
Tabla 6.5. Relación de parámetros y mejores experimentos .....	197
Tabla 6.6 Resumen de mejores combinaciones paramétricas por experimento .....	198
Tabla 7.1 Comparativo combinaciones paramétricas experimentos 1 y 3.....	220
Tabla 7.2 Desafíos para Colombia en ciencia, tecnología e Innovación .....	228
Tabla 7.2 Comparativo combinaciones paramétricas experimentos 2 y 4.....	230

## Índice de Figuras

Figura 2.1. Innovación según la relación Tecnología / Mercado.....	21
Figura 2.2. Innovación según la relación entre componentes de un producto.....	24
Figura 2.3. Las 12 vías para la innovación.....	27
Figura 2.4. Línea de tiempo de modelos de proceso innovador.....	32
Figura 2.5. Modelo Marquis de proceso innovador.....	33
Figura 2.6. Modelo lineal de proceso innovador.....	34
Figura 2.7. Modelo Kline de proceso innovador.....	35
Figura 2.8. Modelo London Business School de proceso innovador.....	35
Figura 2.9. Modelo de innovación abierta de proceso innovador.....	36
Figura 2.10. Modelo de diseño de pensamiento de proceso innovador.....	38
Figura 2.11. Modelos de innovación STI y DUI.....	39
Figura 2.12. Taxonomía de la aptitud.....	51
Figura 2.13. Etapas del montículo de arena.....	63
Figura 2.14. El árbol de la vida, rangos de clasificación biológica.....	64
Figura 3.1. Clasificación de roles en el ecosistema de emprendimiento.....	75
Figura 3.2. Modelos complementarios de proceso innovador.....	83
Figura 4.1. Estructura lógica de un modelo basado en ecuaciones.....	95
Figura 4.2. Estructura lógica de un modelo de simulación basado en agentes.....	101
Figura 4.3. Grilla de nueve cuadrantes.....	106
Figura 4.4. Progresión de umbrales del modelo Schelling (1978).....	107
Figura 4.5. Matriz de pagos del dilema del prisionero.....	108
Figura 4.6. Comportamiento de pagos del dilema del prisionero después de 3430 iteraciones.....	111
Figura 4.7. Evolución del comportamiento de agentes modelo Sugarscape.....	113
Figura 4.8. Variación de Distribución de riqueza y curva de Lorenz.....	115
Figura 4.9. Variación de publicaciones y citas SBA e Innovación.....	125
Figura 5.1. Estructura de Calibración, verificación y validación.....	129
Figura 5.2. Elementos del protocolo ODD.....	153
Figura 5.3. Imagen del espacio de simulación.....	160
Figura 5.4. Sistema de identificación visual de los estados de un emprendimiento.....	164
Figura 5.5. Diagrama de flujo de proceso en el modelo.....	164
Figura 5.6. Representación de distribuciones de mercado.....	168
Figura 5.7. Ejemplo de rangos de mercado.....	169
Figura 5.8. Distribución aleatoria de agentes.....	170
Figura 5.9. Parámetros de inicialización de la simulación.....	170
Figura 6.1. Proceso de ejecución de experimentos.....	179
Figura 6.2. Evolución de resultados del experimento 1.....	184
Figura 6.3. Evolución de resultados del experimento 2.....	188
Figura 6.4. Evolución de resultados del experimento 5.....	193
Figura 6.5. Evolución de resultados del experimento 6.....	197
Figura 7.1. Evolución de uso de los centros de emprendimiento.....	207

Figura 7.2. Distribución de StartUps por etapa en Colombia .....	209
Figura 7.3. Emprendimiento con alto nivel de innovación .....	212
Figura 7.4. Descripción de perfiles de agentes pertenecientes al emprendimiento 919 .....	213
Figura 7.5. Desempeño de innovaciones exaptativas en el modelo después de 3650 días .....	216
Figura 7.6 Desempeño de innovaciones en el modelo después de 3650 días .....	226
Figura 7.7 Comportamiento de StartUps innovando .....	229

## **Agradecimientos**

Este trabajo ha contado con el apoyo en tiempo y energías de varias personas sin las cuales no habría sido posible, a todas les estoy profundamente agradecido, para ello quiero resaltar a continuación algunas quienes principalmente estuvieron siempre presentes.

A mi directora de tesis Merlin Grueso mis más sinceros agradecimientos por su paciencia y buena voluntad para orientarme en este camino, en un momento donde pensé que todo estaba perdido me tendió su mano sin mayor interés a ofrecer su apoyo. Su disciplina y persistencia por la calidad son el mejor ejemplo de vida que me llevo de este proceso.

Al decano Alejandro Cheyne, un gran mentor en mi formación como profesional, le agradezco su paciencia, buenos consejos y apoyo incondicional en este proceso, donde nunca encontré un no como respuesta. Esta oportunidad que me ha dado de acompañarlo en el desarrollo de la escuela que soñamos, ha sido sin duda, un segundo doctorado lleno de aprendizajes.

Agradezco también a mi codirector Diego Cardona, quien me acompañó con sus buenos consejos en la consolidación de la idea, y me apoyo para afrontar este reto para mi desconocido.

A los ingenieros Daniel Rodriguez y Leonardo Vargas, agradezco enormemente su contribución y buenas ideas en el desarrollo de este trabajo. A ambos les debo la posibilidad de materializar lo que era una idea en un producto tangible para esta investigación.

Deseo agradecer también a Nelson Gomez y David Anzola, miembros del equipo del Centro de Innovación, quienes ofrecieron su apoyo y amistad en el día a día de este trabajo.

Finalmente, y no menos importante, deseo agradecer a mi familia y amigos su apoyo y acompañamiento en los momentos buenos y no tan buenos, y muy particularmente a Jenny mi esposa y Ana Lucia mi hija, quienes me ha acompañado en esta travesía con su comprensión y soporte, son ella el mejor ejemplo de paciencia y compromiso que cualquiera podría tener.

## Declaraciones

Esta tesis ha sido entregada a la Escuela de Administración de la Universidad del Rosario como parte de los requisitos para acceder al título de Doctor en Ciencias de la Dirección. Ningún aparte o sección de esta tesis ha sido enviado como como soporte o aplicación para acceder a otro título o calificación en otra institución académica. Apartes o secciones de esta tesis fueron utilizados para el desarrollo de trabajos arbitrados los cuales son listados a continuación:

1. Pulgarin, S. & Cardona, D. (2016). Hacia un modelo explicativo del proceso innovador para los centros de emprendimiento: una aproximación desde las exaptaciones y la diversidad. En: Montoya, L., Montoya, I., Valencia, A., (Eds). Metáforas biológicas aplicadas a la organización II, 1er ed (pp 45-79). Bogotá: Editorial Universidad Nacional.
2. Pulgarin, S., Gomez, N., & Anzola, D. (2015). Documento maestro: Línea de Emprendimiento e Innovación. Bogotá: Escuela de Administración. Retrieved from <http://www.urosario.edu.co/Escuela-de-Administracion/Investigacion/Grupo-de-Investigacion/Lineas-de-Investigacion/Linea-de-Emprendimiento-e-Innovacion/>

## 1. Introducción

En la última década, una importante transformación empresarial en el país ha impactado no solo la manera como se conciben y perfeccionan las firmas, sino también los mecanismos para la formación y fortalecimiento de nuevos empresarios, dando paso a la generación de nuevas formas de empresa que rompen con las estructuras tradicionales. Una de estas nuevas formas denominada StartUps, hace referencia a firmas en una etapa temprana de desarrollo, que apelan al componente tecnológico-innovador para posicionarse en el mercado (Innpulsa, 2017b), generando en algunos casos efectos significativos en el desarrollo económico de los países (Kelley, Bosma, & Amorós, 2011). Así, en el ámbito empresarial las StartUps han demostrado que la apropiación de la innovación como pilar de desarrollo, posibilita superar en cortos periodos de tiempo hasta las más grandes mega corporaciones, como lo evidencian firmas como Google, Facebook, Uber, Airbnb, entre otras, quienes iniciaron su operación a principios del siglo XXI y rápidamente lograron un crecimiento económico casi 10 veces superior al de sus competidores internacionales (Ismail, Malone, & Geest, 2014).

Al profundizar en las razones que explican estos comportamientos exponenciales en los niveles de desarrollo de las firmas, se observa que cada una de ellas pertenece directa o indirectamente a un particular tipo de estructura concebida como un sistema de actores enfocado en acompañar el proceso de consolidación de nuevas firmas innovadoras. Este tipo de estructura ha recibido el nombre de *ecosistema de emprendimiento*, dada su operación a la manera de red articulada que combina una fuerte base institucional junto con esfuerzos en recursos para soportar tanto a los StartUps como a las instituciones de apoyo (Kantis, Angelelli, & Moori, 2005). Una mirada amplia a los 10 principales ecosistema del mundo (Herrmann, Gauthier, Holtschke, Berman, & Marmer,

2015), permite evidenciar como estos soportan sustancialmente (i) el crecimiento económico de sus regiones, y (ii) la empleabilidad de las mismas, ambos indicadores centrales para medir el desempeño y desarrollo económico de las regiones y países. Nueva York, Silicón Valley, Londres, Berlín y Singapur son solo algunos ejemplos de ciudades referente donde estas estructuras posibilitan las altas tasas de contribución al Producto Interno Bruto (OCD.Stat, 2017) haciéndolas tan importantes.

Uno de los más interesantes ejemplos de este fenómeno es el ecosistema de Nueva York, el cual cuenta con la segunda tasa de inversión en capital de riesgo más alta después de Silicon Valley, siendo valorado en alrededor de 47 billones de dólares (Herrmann et al., 2015) a partir del total de StartUps que lo contienen, valor que corresponde con una quinta parte del total del producto bruto de Colombia para el 2016. En adición, cuenta con una media de capital semilla de 900 mil dólares, y las inversiones de capital en StartUps Serie A, o emprendimientos de alta calidad, ascienden en promedio a los 8 millones de dólares. Adicional a lo anterior, este ecosistemas es reconocido por haber generado 90.000 empleos en tecnología y entre 7,100 y 9,600 StartUps activos en el mismo ámbito (Herrmann et al., 2015). Tales cifras, posicionan a la ciudad de Nueva York como una de las principales ciudades de mundo para invertir en nuevos negocios y desarrollar emprendimientos en gran escala, además de resaltar el papel que desempeñan los ecosistemas de emprendimiento en el efectivo desarrollo de las economías.

Si bien parecería que los principales ecosistemas se encuentran ubicados en economías desarrolladas, lo que dificulta la posibilidad generar comparaciones con economías latinoamericanas, en la posición número 12 del ranking de ecosistemas de emprendimiento más

importantes del mundo, se encuentra el ecosistema de Sao Paulo en Brasil, por encima de ecosistemas como los de Austin, Montreal y Hong Kong (Herrmann et al., 2015). Con una dotación de factores similar a la de algunas regiones de Colombia, este ecosistema es valorado entre 14.1 y 17.3 billones de dólares, cuenta con una media de inversión en capital semilla de 500 mil dólares y la inversión promedio en emprendimientos serie A es de 6.5 millones de dólares (Herrmann et al., 2015). La ciudad alberga entre 1.500 y 2.700 emprendimientos de base tecnológica activos y resalta por ser el tercer ecosistema de emprendimiento con mayor crecimiento en los últimos tres años. Ejemplos de emprendimientos de alto impacto como EasyTaxi, Dafiti, NetShoes dan cuenta de la importancia de este ecosistema a nivel mundial junto con los efectos que este ha tenido en el desarrollo económico del Brasil.

Para seguir el camino trazado por varias de las ciudades anteriormente mencionadas, desde 1993 Colombia ha desplegado un conjunto de iniciativas para el fortalecimiento de una estructura que prohíje el desarrollo sostenible de emprendimientos, logrando hoy en día un incipiente ecosistema nacional de emprendimiento si se compara con los anteriormente mencionados. A pesar de los esfuerzos de instituciones como Innpulsa, Endeavor, Ruta N, entre otros y algunos marcos regulatorios como la Ley 1014 de 2006 o ley de emprendimiento, por propiciar condiciones para el crecimiento y desarrollo del ecosistema local, la capacidad catalizadora de crecimiento económico del emprendimiento de negocios se ve difícilmente reflejada en el desempeño económico del país, de hecho, buena parte de las apuestas de desarrollo del gobierno se enfoca aun en el desarrollo de industrias tradicionales como la minería y el petróleo.

Al realizar una revisión transversal de los informes del Global Entrepreneurship Monitor para Colombia, desde el 2012 (Pereira et al., 2012) a hoy (Buelvas et al., 2017), un elemento común resalta como aspecto de análisis de todos estos informes, y para el caso, conforma parte de la reflexión para esta investigación. Colombia es un país clasificado por el Foro Económico Mundial, como una economía basada en la eficiencia, enfocada en prohijar el desarrollo a partir de la inversión en la industria tradicional, para lo cual, su principal reto es realizar la transición efectiva hacia una economía basada en la innovación, donde la creación de StartUps competitivas juega un rol determinante dada su capacidad para generar valor y sostenibilidad (Drexler, Eltobgy, & Gratzke, 2014; Drucker, 1985; Innpulsa, 2017a; Pereira et al., 2012; Timmons & Spinelli, 2012).

Bajo este contexto, esta investigación se encuentra encaminada a proveer aportes con respecto al proceso innovador en ecosistemas de emprendimiento, mediante el desarrollo de un modelo basado en agentes (*agent-based modelling*). Como aspecto distintivo del modelo, los mecanismos que los agentes emplean con el fin de innovar, están motivados por la biología evolutiva moderna, particularmente, por los mecanismos evolutivos de la teoría de las exaptaciones (Gould & Vrba, 1982). Dichos mecanismos, además de ser equiparables a los de la innovación en las organizaciones (Adriani & Cohen, 2009; Andriani & Cattani, 2016; Bonfati & Villani, 2013; Bonifati, 2010, 2012; Feltrinelli & Garda, 2009; Mastrogiorgio & Gilsing, 2016), permiten integrar en el modelo una concepción bio-inspirada de la innovación. . Para este fin, el documento presenta una estructura distribuida en 7 secciones que despliegan de manera sistemática la investigación realizada desde su origen hasta sus conclusiones. En la segunda sección se realiza la revisión de los aspectos teóricos de la investigación haciendo un recorrido sobre las tres dimensiones de estudio y análisis de esta investigación (i) Innovación, (ii) Exaptaciones y (iii) diversidad,

evidenciando el conjunto de argumentos por los cuales el estudio de la vida se constituye como una de las fuentes para la comprensión de fenómenos asociados a la organización y su entorno.

En la sección 3 se realiza la presentación del problema de investigación, delimitación y objetivos, para luego pasar a la sección 4 donde se realiza la descripción metodológica de la investigación que parte del uso de una de las metodologías más revolucionarias para la comprensión de fenómenos de la organización conocida como Simulación Basada en Agentes. Esta metodología, entre otras características permite estudiar la interacción y relaciones de los actores vinculados a un fenómeno, para el caso, el fenómeno de emergencia de innovaciones en un ecosistema de emprendimiento, lo cual abre la oportunidad a cuestionamientos de investigación que bajo metodologías tradicionales difícilmente habrían podido ser abordados. En la sección 5 se describe el modelo tomando como estructura uno de los protocolos más ampliamente usados en el mundo para este fin, el denominado Protocolo ODD, que presenta de manera sistemática cada uno de los elementos constitutivos del modelo.

Como resultado de la presentación del modelo, la sección 6 desarrolla cada uno de los experimentos construidos con el modelo, los cuales se expresan por las problemáticas y objetivos desarrollados en esta investigación. Un total de 4 experimentos, dan cuenta de comportamientos y estructuras que se constituyen como la consecuencia principal de este trabajo de investigación. En la sección 7 se presenta la discusión de resultados, junto con las principales conclusiones de la investigación, para finalizar en la sección 8 con limitaciones y futuras investigaciones.

## **2. Aspectos teóricos**

Tal y como se indicó en la introducción, en esta primera sección se realiza una revisión de los principales aspectos teóricos asociados a las dimensiones de investigación que soportan este trabajo, con el fin de identificar los espacios de conexión necesarios para argumentar tanto la naturaleza del modelo explicativo, como sus características de desarrollo, junto con soportar el análisis y conclusiones que de este provengan. Para estos efectos, se desarrollará una revisión de los conceptos generales de innovación, para identificar un espacio de interés en el ámbito del proceso innovador y el conjunto de modelos que desde la teoría pretende explicar este fenómeno. Como novedad, el marco teórico se aproxima a la comprensión de la innovación como fenómeno que exhibe características propias de los fenómenos de la vida, partiendo de las reflexiones de autores que han logrado construir evidencia y teoría en este aspecto. dado este marco de soporte, se introducen reflexiones desde la biología evolutiva y la diversidad que permiten soportar el desarrollo de esta investigación en términos de la justificación del modelo y su naturaleza metodológica.

### **2.1. La innovación: ¿Una categoría?**

La innovación como campo de estudio goza de un interés histórico circunscrito en su capacidad de acelerar el progreso de las economías (Cantwell, 2006), la competitividad de las firmas (Castellacci, 2008), e inclusive la calidad de vida de los individuos de una nación (Freeman, 1995), lo que describe un impacto transversal en las diferentes estructuras de la sociedad contemporánea. No obstante, como en las ciencias sociales en general (Bunge & Pons, 1999) la innovación experimenta debilidades en su estatuto epistemológico, junto con cierta ligereza en su

fundamentación teórica (Godin, 2015), lo que invita a reflexionar sobre la calidad en la comprensión y es status científico del fenómeno central de estudio en esta investigación.

En efecto, el análisis crítico al concepto de la innovación, su evolución científica y raíces presentado por Godin (2008) y posteriormente Moldaschl (2010), clasifican el campo al nivel de una categoría; entre otras razones debido a que la procedencia de su fundamentación epistemológica no se sustenta en el desarrollo de una corriente de pensamiento o paradigma de investigación, sino por el contrario, a partir de la evolución histórica de algunos otros conceptos como invención, imitación, difusión y novedad. En la misma vía, los autores reflexionan acerca de la fragilidad en la taxonomía de los conceptos propios de la innovación, donde conceptos como invención e innovación no se encuentran claramente diferenciados. La literatura indica que la invención es un paso previo y obligatorio para la innovación, no obstante, existen varios ejemplos que dan cuenta de innovaciones que emergen como resultado de la recombinación de componentes existentes como lo son el Walkman de Sony o los vehículos eléctricos (Abernathy & Clark, 1985).

Desde una perspectiva economicista Nelson & Winter (1977) cuestionan la solidez y confiabilidad de las teorías de la innovación, así como también desatacan la dificultad para identificar una clara diferencia entre política de innovación y teoría de la innovación, lo que aduce a las mencionadas debilidades en el estatuto epistemológico. Reflexiones más recientes como las de Denning & Dew (2015) orbitan bajo las mismas ideas: (i) Resulta cuestionable la posible existencia de una o varias teorías de la innovación, (ii) existe una súper simplificación en la explicación de la innovación y (iii) las explicaciones alrededor de la innovación son de carácter retrospectivo y no científico.

A pesar de las críticas, los desarrollos investigativos alrededor de la innovación como campo de estudio han sido de enormes proporciones (Godin, 2015). Con el fin de validar las reflexiones de Godin, se realizó una búsqueda del término – innovación – en la base de Google Scholar, la cual registró a agosto del 2015 más de 81.000 referencias de libro y 945.000 artículos científicos. Al ampliar la búsqueda a los sistemas de indexación ISI y SCOPUS, estos no solo proveen una categoría propia para los estudios en el campo de la innovación y la tecnología, sino también cuentan con algunas revistas científicas referentes del campo como *tecnovation*, o el *Journal of Produce Innovarían Management* ubicadas en la lista de las 30 más importantes del mundo, en la categoría general de *Business and Management*. De hecho, importantes revistas como *Academy of Management Journal* o *Organization Science* refieren a la innovación y la tecnología como uno de sus temas de interés en publicación. Entonces, ¿cómo una categoría de estudio puede generar tanto volumen e interés científico?

La explicación resulta evidente, la innovación es un fenómeno por sus características capaz de acelerar el desarrollo competitivo de las naciones (Şener & Saridoğan, 2011; Zhang, 2009) así como también aportar al logro de ventajas competitivas para la organización (Lahovnik & Breznik, 2013), ambos, aspectos críticos en la generación de riqueza en el contexto geoeconómico actual. Si bien parecería que la presión por el desarrollo aplicado del campo concedió a sus diferentes teóricos la libertad para avanzar bajo conceptos y supuestos con debilidades epistemológicas, generando inquietudes sobre la robustez en el desarrollo del campo, sus aproximaciones y fundamentos, la innovación es hoy un problema de estudio vigente, creciente y de suma relevancia en el ámbito del desarrollo económico en distintos niveles.

### **2.1.1. ¿Qué es la innovación?**

Las debilidades en el estatuto epistemológico del campo presentadas previamente, sugieren la necesidad de propiciar la discusión de esta sección desde la naturaleza ontológica de las definiciones de innovación, dado que cada definición demarca no solo aspectos teóricos fundamentales sino también problemas de investigación y perspectivas de estudio. En concordancia con Godin (2015) el concepto de innovación puede tener varias formas de definición cada una congruente con una raíz etimológica distinta.

La definición temprana del término emerge de la raíz griega – Kainotomia – que resulta de la combinación de – Zainos– (lo nuevo) con la palabra – tom – (Cortar) para referirse a lo nuevo y al mismo tiempo radical, esta forma de definición devela una noción de innovación como un proceso de agregación que introduce aquello no conocido. De hecho, en el contexto de la sociedad griega el término fue acotado para fines políticos, de manera particular, para calificar bajo una connotación negativa a aquellos revolucionarios promotores del cambio en las bases del orden establecido (Godin, 2015). Posteriormente, y bajo una raíz en el latín, el concepto de innovación se manifiesta entre los escritores y poetas romanos quienes acotaron el – innovo –, no como la agregación – in – de lo nuevo –nova – o el cambio a una estructura o relación de estructuras en particular sino como él o – innovare – o la renovación y transformación de algo hacia un nuevo estado o combinación (Godin, 2008).

A partir de las dos aproximaciones presentadas, el estudio de la innovación i) como un proceso de agregación o ii) como un proceso de transformación representan diferencias significativas que afectan desde la caracterización epistemológica del campo hasta sus métodos y discusiones. La

corriente principal de la innovación se consolida en sus orígenes a partir de los clásicos Manual Frascati (OCDE, 2002), Libro verde de la innovación (Parlamento Europeo, 1995) y el Manual de Oslo en sus tres versiones 1993, 1997 y 2005), los tres en conjunto abordan la innovación bajo el primer paradigma donde el cambio en los componentes y/o la relación entre los componentes ya existentes de un artefacto o sistema, supone la emergencia de una innovación.

Así, bajo esta lógica ontológica, la tercera y última edición del Manual de Oslo define las innovaciones como *la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones externas* (OECD & EUROSTAT, 2005, p. 56). En síntesis, la agregación de creaciones o modificaciones significativas a los factores constitutivos de una estructura es considerable como innovación.

Este mismo paradigma, ha permitido la construcción de herramientas para la medición de innovaciones fundamentadas en el aparato teórico del Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005), el cual propone entre otras mediciones la correlación existente entre el presupuesto de inversión en investigación y desarrollo y el número de nuevos desarrollos disponibles registrados como patentes, e.g., el Informe anual de indicadores de Ciencia y Tecnología de Colombia (OCyT, 2015) el cual inicia su despliegue con la exposición de las cifras de inversión en actividades de ciencia, tecnología e innovación para el país. De la misma manera, otros sistemas como el Global Innovación Index (en adelante GII) y el World Bank Open Data<sup>1</sup> clasifican las economías

---

<sup>1</sup> El WBOD es una plataforma virtual de información macro y meso económica suministrada por el banco mundial. Disponible en: <http://datos.bancomundial.org/>

mundiales midiendo aspectos como el porcentaje del PID utilizado en investigación y desarrollo respecto del número total de patentes registradas por año en un país entre otros indicadores asociados a ciencia, tecnología e innovación.

Respecto de las definiciones de la noción de Innovación, la Tabla 2.1 presenta un resumen longitudinal de las aproximaciones al término como resultado de una revisión de literatura en bases de datos que tomó como ventana de tiempo los periodos entre 1960 y 2014. Como criterios de búsqueda, se estableció como general el conjunto de documentos que integraran las frases: (i) “what is innovation” y (ii) “innovation is”, y como específicos, aquellos documentos que integrara en mayor nivel de consultas y citas sin discriminar su autoría (personas o instituciones). Como reflexión preliminar a los resultados de la búsqueda se observa que si bien la amplia variedad de definiciones evidencia universalidad en el conocimiento producido y con ello la posibilidad de interdisciplinariedad entre este y otros campos de estudio, tal diversidad ha generado una falta de consenso que afecta de manera directa la producción acumulativa y comparable de investigación relativa a innovación (Wolfe, 1994)

**Tabla 2.1.**  
*Definiciones de la noción de innovación*

Autor	Definición
(Burns & Stalker, 1961)	Es la habilidad de la organización para responder y adaptarse a los cambios internos y/o externos
(Myers & Marquis, 1969)	Es la comercialización de una invención.
(Gee, 1982)	Es un proceso en el que, a partir de una idea, invención o identificación de una necesidad, se desarrolla un producto, técnica o servicio útil hasta que éste sea comercialmente aceptado.
(Freeman, 1982)	Es el proceso de integración de la tecnología existente y los inventos para crear o mejorar un producto, un proceso o un sistema.

(Drucker, 1985)	Es el medio por el cual explotar el cambio como una oportunidad para un negocio diferente (...) Es la acción de dotar a los recursos con una nueva capacidad de producir riqueza.
(Rothwell & Gardiner, 1985)	No solo significa comercialización de una ventaja significativa en el más alto de los niveles técnicos, sino también incluye tomar ventaja de cambios en pequeña escala en el conocimiento del negocio.
(Piatier, 1987)	Es una idea transformada en algo vendido o usado.
(M. E. Porter, 1990)	Se refiere al proceso-conversión de una idea, en un producto o servicio comercializado (...) Es el acto mediante el cual las compañías obtienen ventajas competitivas a partir de nuevas tecnologías y nuevas maneras de hacer las cosas.
(Elster, 1992)	Innovación es la producción de un nuevo conocimiento tecnológico.
(Manual de Frascati, 1993)	Transformación de una idea en un producto nuevo o mejorado que se introduce en el mercado o en un proceso nuevo o mejorado utilizado en la industria o el comercio
(Manual de Oslo, 1995)	Es la implementación de nuevos o significativamente mejorados productos o procesos tecnológicos introducidos en un mercado o al interior de un proceso.
(Parlamento Europeo, 1995)	Es producir, asimilar y explotar con éxito una novedad, en las esferas económica y social, de forma que aporte soluciones inéditas a los problemas y permita así responder a las necesidades de las personas y de la sociedad.
(Christensen, 1997)	Es un proceso por el cual un producto o servicio se arraiga en la base de un mercado y luego se desplaza hacia arriba sin cesar, desplazando eventualmente a los competidores
(Escorsa & Valls, 2003)	Es una nueva idea hecha realidad o llevada a la práctica
(Manual de Oslo, 2005)	Es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un nuevo método organizativo, en las prácticas internas de la empresa, la organización del lugar de trabajo o las relaciones externas
(O'Sullivan & Dooley, 2009)	Es el proceso de hacer cambios que resultan en la introducción de algo nuevo para la organización que agrega valor al cliente y conocimiento a la organización
(Padgett & Powell, 2012)	Es la aplicación de nuevas ideas a productos, procesos u otras actividades de la organización que se orientan a la creación de valor
(Maillard, 2014)	Es un proceso de materialización gradual de nuevas ideas guiado por la proyección de un futuro muy incierto en términos de sus usos y retorno de la inversión que producirá.
(Carayannis, Samara, & Bakouros, 2015)	Se asocia a la creación de mercados sustentables alrededor del lanzamiento de un nuevo o superior producto o proceso.
(Kell & Lurie-Luke, 2014)	No es sólo encontrar una nueva manera de hacer algo o el descubrimiento de una nueva visión; se trata de una traducción de esta visión en una aplicación específica que tendrá un impacto social o comercial: Una innovación es algo original, nuevo e importante que en cualquier campo rompe en un mercado o la sociedad

*Fuente: Elaboración propia*

La revisión de las diferentes definiciones de innovación permite analizar aspectos como la evolución y naturaleza del término, que al mismo tiempo tiene repercusiones en temáticas que se trataran en secciones posteriores como lo son los tipos de innovación. Si bien la mayor parte de las definiciones convergen en la presentación de la innovación como un fenómeno de agregación, lo que hace de esta aproximación más común y difundida, resulta complejo identificar patrones asociados a la evolución del concepto de innovación, probablemente a razón de la heterogeneidad de aproximaciones que se discutió previamente.

No obstante, algunos aspectos como la noción de causalidad y proceso se resaltan en las definiciones tempranas, e.g., Drucker (1985); Freeman (1982) y Gee, (1982); donde es abordada la innovación como una estructura secuenciada de pasos o acciones que como resultado generan un rédito positivo a algún tipo de organización, siendo los aspectos distintivos de cada definición, las unidades o insumos de entrada y los réditos o salidas. Las definiciones más recientes, e.g., Kell & Lurie-Luke (2015); Maillard (2014) y Padgett & Powell (2008), sin renunciar a la lógica del proceso, presentan una versión más ampliada y abstracta del término, además de incluir factores de interpretación subjetiva de cada organización.

En relación con la dimensión ontológica del estudio de la innovación, los diferentes autores presentados convergen en referir el origen del campo a partir de las aproximaciones de Schumpeter (1939, 1942). En su trabajo preliminar, Schumpeter (1911) identifica como su principal meta, el estudio de la manera como los sistemas económicos generan la fuerza que incesantemente los transforma (Hall & Rosenberg, 2010), concluyendo que el desarrollo económico de los países es

resultado de la transformación de los sistemas productivos, siendo el cambio tecnológico en la firmas uno de los principales motores de esta transformación.

Posteriormente, Schumpeter, (1939) reflexionaría sobre los proceso de transformación a un nivel micro, identificando los denominados «ciclos de negocio». El definir el negocio a la manera de un ciclo indica cómo el autor daba un carácter transformacionista a la función del mismo, donde este pasa por un origen, un fin, y lo más importante, una fase de transición. Así, la innovación es concebida como un proceso que cambia las funciones actuales de producción pero también introduce nuevas, a fin de obtener ventajas en calidad y costo que bajo la presión por la competencia da paso a un nuevo estado de las cosas (Schumpeter, 1942), aquellos negocios que no logren saltar hacia el ciclo estarían condenados a desaparecer.

Respecto de las formas como las innovaciones se manifiestan en la firmas, Shumpeter describe 5 nuevas combinaciones productivas que dan cabida a la transformación de los mercados y negocios: (i) la introducción de un nuevo bien o cambio en su calidad, (ii) un cambio en el método o estructura de producción, (iii) la apertura de un nuevo mercado, (iv) la consecución de una nueva fuente de aprovisionamiento y (v) la creación de una nueva firma o industria. Como mecanismo explicativo, Schumpeter desarrolló los modelos Mark I y Mark II los cuales describen patrones de innovación que relacionan el desempeño de los sectores con su estructura industrial, y la tecnología disponible. El modelo Mark I, denominado como «Destrucción Creativa o Creadora» (Schumpeter, 1939) describe el impacto de la introducción de nuevas firmas en la actividad innovativa de un sector, donde las nuevas formas de productos, proceso o mercados desorganizan

los esquemas de acción y operación de las firmas tradicionales presionándolas para la transformación y adaptación a la nueva estructura de negocio.

Respecto del modelo Mark II denominado como «acumulación Creativa o Creadora», Schumpeter, (1942) resalta el papel de la investigación y desarrollo en la realización de innovaciones, y como estas actividades junto con la producción de nuevo conocimiento se comportan como una barrera de entrada dada la escala de los proyectos y los altos requerimientos en capacidades de producción y presupuestos de inversión. En cualquiera de los casos la importancia de las tesis de Schumpeter radica en la introducción de una vía alterna para explicar el desarrollo económico de las naciones y sus organizaciones, por encima del estudio y comprensión de la gestión óptima de los recursos escasos y el desarrollo de equilibrios, paradigma vigente a principios de siglo, sino la introducción de diversidad y nuevas formas de operación que propicien la asimetría en los mercados y las firmas.

Paradójicamente, las interpretaciones tempranas del fenómeno de la innovación, toman el modelo de destrucción creativa o creadora de Schumpeter (1939) como referente, para describirlo como un patrón por agregación, es decir que la simple introducción de nuevos productos o servicios al mercado tiene por consecuencia la creación de un nuevo ciclo de negocio, desconociendo los fundamentos transformacionistas de las teorías de Schumpeter, que por sus características se ajustan a la noción evolutiva de la economía (Goodwin, 1991). Solo a partir del trabajo de Foster (1986) respecto de las curvas de ciclo de vida tecnológico y emergencia de discontinuidades tecnológicas, y las aproximaciones de Christensen (1997) quien aborda la innovación como un proceso disruptivo donde la introducción de nuevas combinaciones

productivas o relaciones entre los componentes además de propiciar condición de desempeño superior en los nuevos participantes, impacta también el desempeño de los participantes actuales, al punto de en algunos casos eliminarlos del escenario de mercado, el concepto de destrucción creativa toma forma como fenómeno emergente en el contexto de innovación, en concordancia con los propósitos explicativos de Schumpeter

Aun cuando la comprensión de la innovación como un fenómeno de agregación, resulta ser común a la literatura sobre innovación, autores como Abernathy & Clark (1985) hacen evidente las inconsistencias de aproximarse al concepto de innovación desconociendo el entorno, al introducir en concepto de transiliencia en el ámbito de la innovación. Este concepto, se describe como una propiedad distintiva entre las innovaciones y los nuevos inventos, donde la diferencia entre el primero y el segundo recae en el nivel de impacto que la invención tenga en su entorno. Así, una invención que no transforme en alguna vía la estructura y actores hacia los cuales va dirigida, no podría considerarse como innovación. Desde una perspectiva empresarial, autores como Escorsa & Valls (2003) e Hidalgo, Leon, & Pavon, (2008), destacan esta misma diferencia al establecer distinciones entre el concepto de Desarrollo tecnológico e Innovación tecnológica demarcadas por la introducción y éxito de un producto o servicio en el mercado. De hecho Valdes (2013) resalta la diferencia entre invención e innovación al indicar que si bien el origen de toda innovación es una invención, el mundo se encuentra lleno de inventos fallidos.

Buena parte de los ejemplos sobre inventos fallidos se encuentran en la industria automotriz, dada su alta tasa de renovación de producto. Ford Motor Company desarrolló en los 80's el NUCLEON, un vehículo impulsado por energía nuclear que ofrecía transporte cómodo y a un

costo mínimo para el usuario, sin embargo consideraciones como el riesgo de tener cientos de reactores nucleares andando por las calles culminaron con la cancelación del proyecto (Cambou & Nash, 2002). La misma situación se evidencio con el vehículo impulsado por turbina, el vehículo anfibio y la más controversial de todas, el vehículo volador (Cambou & Nash, 2002).

Para todos los casos estas invenciones significaron la modificación en la relación de sus componentes y en algunos de los casos la creación de algunos nuevos, sin embargo, la dificultad para la introducción de los vehículos en el mercado y la misma aceptación de los clientes terminaron por convertirlos en simples inventos fallidos. Los anteriores ejemplos explican como la – agregación de lo nuevo – habla solo de lo novedoso, más no necesariamente de lo innovador, pues para que exista innovación es necesario el impacto y transformación de una estructura particular. Las innovaciones no emergen en el simple acto de *novar*, sino en la capacidad de esa novación para transformar el sistema de mercado maximizando los beneficios para la organización y su entorno. Las ventajas competitivas serian resultado de innovaciones altamente transilientes y la responsabilidad principal del directivo estaría en *dirigir para hacer la transición* (Abernathy & Clark, 1985, p.21) hacia nuevos escenarios que garanticen la continuidad de la organización.

Como se mencionó previamente, Abernathy & Clark, (1985) introdujeron el concepto de transiliencia para referirse a la capacidad que tiene toda novedad (invención o mejoramiento) de impactar en mayor o menor escala el sistema convirtiéndola en innovación, ejemplo de ello es el renombrado caso del iPad de Apple, el cual logro no solo una transformación en los hábitos y comportamientos de la sociedad en general, sino también una transformación económica de la empresa con un crecimiento anual promedio de más del 27% (The Economist, 2015). Bajo esta

perspectiva, la transición de la novedad hacia la innovación se da por el nivel de impacto o transiliencia de un nuevo o novedoso componente o combinación de componentes que desde la empresa supone la aceleración en el crecimiento económico y desde la sociedad o el mercado la transformación de su estructura.

## **2.2. Tipologías de innovación**

Dada la existencia de diferentes marcos para la clasificación de tipologías de innovación, en este documento se desarrolló una presentación de las mismas clasificadas en dos tipologías: (i) las tipologías tradicionales las cuales corresponden con la corriente principal del estudio de la innovación que además permea buena parte de la literatura básica del campo, y (ii) las tipologías alternativas que emergen como propuestas complementarias a la corriente principal y que promueven la aproximación a la problemática de la innovación desde aparatos teóricos relacionados y en ocasiones diferentes.

### **2.2.1. Tipologías tradicionales para la clasificación de innovaciones.**

Las primeras tipologías tradicionales de innovación se han construido a partir del sistema de combinaciones productivas descrito por Schumpeter, (1911), en tal sentido, la creación de mercados, fuentes de suministro, métodos de producción y organización de la industria, demarcarían los parámetros generales para la construcción de los primeros cuatro primeros tipos de innovación que corresponden con las cuatro creaciones mencionadas. A pesar de los esfuerzos de autores como Damanpour, (1987) por mantener las cuatro tipologías iniciales propuestas por Schumpeter (1939) al proponer un marco de distinciones entre innovaciones de producto y proceso junto con el de innovaciones técnicas y administrativas, el poder simplificador de la economía clásica y su influencia en la teorización de la innovación volcaron buena parte de los autores hacia

una aproximación más sintética de los tipos de innovación que cupiese bajo los parámetros de oferta y demanda.

En tal sentido, hasta finales de los 90 la corriente principal de estudios sobre innovación reconocía como suficiente, una versión sintetizada de las tipologías de innovación, construida a partir de las primeras ediciones del Manual Frascati (OCDE, 1963) y el Manual de Oslo (OCDE, 1993) donde se definía (i) la innovación de Producto y (ii) la innovaciones de Proceso como únicas tipologías posibles en el ámbito de una organización, que para el momento, correspondía con la organización de tipo industrial. Así la noción de innovación permanecía sujeta al conjunto de organizaciones que ofrecían productos y servicios nuevos y de calidad, desarrollados bajo procesos de producción y comercialización eficientes y efectivas. Meingan & Kikuno, (1995) dan cuenta de este escenario al evidenciar los parámetros de materialización de las innovaciones en producto y proceso en la organización bajo una clasificación por décadas. Así, en la década de los sesenta la innovación se dirigía hacia la reducción de costos, en los setenta, hacia el control de la calidad, en los ochenta hacia el desarrollo de variedad de portafolio y en los noventa hacia la satisfacción del cliente.

La evolución natural de los mercados trajo consigo la transformación de las organizaciones a un contexto donde la orientación industrial se agotaba como única estructura posible para la generación de riqueza. Casos como McDonald's e IBM le permitieron a Stevenson & Jarillo (1990) caracterizar un escenario de innovación mediado por el concepto y la mentalidad innovadora del líder, lejos de transformaciones de producto o proceso. En palabras de los autores, el producto hamburguesas no tenía nada de novedoso pues este se encuentra en el mundo entero, siendo la

clave la gestión y el modelo detrás de la misma. Así, el desarrollo de nuevas estructuras empresariales exitosas donde la base de la ventaja competitiva no era soportada por la infraestructura disponible y tamaño de la inversión sino por la relación entre el concepto y la gestión dieron paso a la introducción de la noción de modelo de negocio (Chesbrough & Rosenbloom, 2002) su capacidad para la generación de valor (Teece, 2010) junto con la caracterización de la innovación en los elementos constitutivos del modelo de negocio (Skarzynski & Gibson, 2008).

La integración de la noción de innovación en el modelo de negocio y sus posibles manifestaciones, demarcaría la transformación del manual de Oslo hacia una tercera versión donde se introducen dos tipologías adicionales de innovación las cuales se mencionan a continuación junto con las tradicionales de producto y proceso. Así, según el Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005, p.58) los tipos de innovación son:

- *Innovación de producto:* Es la introducción de un bien o servicio nuevo o significativamente mejorado respecto de sus características o usos. Esto incluye mejoras significativas en especificaciones técnicas, componentes y materiales, software incorporado u otras características funcionales.
- *Innovación de proceso:* Es la introducción de nuevo o significativamente mejorado método de producción o distribución. Esto incluye mejoras significativas en técnicas, equipos y software.

- *Innovación en mercadotecnia:* Es la integración de un nuevo método de mercadeo que involucra cambios significativos en el diseño del producto o empaque, la promoción del producto, el punto de ventas o el precio.
- *Innovación organizacional:* Es la integración en la organización de un nuevo método organizacional en las prácticas de una empresa, organización del lugar de trabajo o relaciones externas.

**2.2.2. Tipologías alternas de clasificación de innovaciones.**

Los trabajos de Abernathy & Clark, (1985) alrededor de la noción de transiliencia llevaron consigo el desarrollo de un sistema de clasificación de innovaciones que toma como eje central el ciclo de negocio y el estado mercado donde la innovación tiene lugar; este particular modelo propone un arreglo de categorías distintas de la orientación de proceso y producto donde la caracterización del impacto en el mercado es la cualidad distintiva de cada tipología. En este modelo las innovaciones son clasificables en cuatro diferentes tipos según las posibles combinaciones mercados nuevos y actuales con productos o tecnologías también nuevas y actuales.

		Tecnología / Producción	
		Nuevas	Actuales
Mercados / Clientes	Nuevos	Innovación Arquitectónica	Innovación creadora de Nichos
	Actuales	Innovación Revolucionaria	Innovación regular

*Figura 2.1. Innovación según la relación Tecnología / Mercado.*  
*Fuente: Abernathy & Clark (1985).*

La Figura 2.1 presenta una matriz 2x2 que caracteriza cuatro tipos de innovación a partir de las posibles combinaciones de variables presentadas en la matriz. La innovación regular emerge

de la relación entre las tecnologías actuales junto con los mercados actuales; se tratan de cambios aprovechando el conjunto de capacidades técnicas y de producción existentes que impactan en los clientes vinculados al producto. Abernathy & Clark, (1985) toman como referente la industria de los vehículos para explicar la tipología donde sugieren el sistema de arranque electrónico como un ejemplo para esta tipología, la clasificación de regular supone que la introducción de esta innovación genera una transiliencia menor. No obstante, resulta necesaria para el afianzamiento y fidelización de las relaciones con el cliente.

La siguiente tipología se refiere a las innovaciones creadoras de nichos, la cual emerge a partir de la relación entre las tecnologías actuales mercados nuevos; aquí las innovaciones abren nuevas oportunidades de mercado a partir de tecnologías, procesos o sistemas de producción disponibles; como ejemplo, los autores proponen el Walkman de Sony, el cual llevo la portabilidad de la música a aquellos grupos de personas que buscaban un medio de reproducción flexible, la cámara desechable y en el caso de los vehículos el modelo A de Ford conocido como el segundo éxito de la compañía y enfocado al nicho de los amantes de la velocidad y el confort (Abernathy & Clark, 1985).

En la tercera tipología se encuentran las innovaciones arquitectónicas las cuales emergen a partir de la relación entre tecnologías y nuevos mercados nuevos; este es espacio donde las innovaciones son más transilientes, en esencia representan un salto tecnológico significativo que converge en la creación de un nuevo sector o subsector, lo que supone la modificación en las relaciones con el mercado y las firmas competidoras. Como ejemplo Abernathy & Clark, (1985) mencionan el modelo T de Ford el cual transformó significativamente la industria del transporte

de pasajeros en los estados unidos y el mundo, otros ejemplos son la radio, el fonógrafo y la xerografía, todas innovaciones que modificaron la estructura de las sociedades y sus comportamientos.

La última tipología se refiere a las innovaciones revolucionarias, estas emergen a partir de la relación entre las tecnologías nuevas y mercados actuales; si bien el nivel de transiliencia es un poco menor, el impacto en términos de desempeño económico para la organización y las transformaciones en el mercado resultan significativas. Estas innovaciones hacen anticuadas tecnologías, procesos y sistemas de producción disponibles sin modificar mercados existentes, al modificar las estructuras o elementos fundamentales del producto sin comprometer su funcionalidad. Como último ejemplo Abernathy & Clark, (1985) presentan el motor V8 de Ford uno de los más apreciados por los consumidores de vehículos de la época, o recientemente las memorias de almacenamiento portátil que modificaron la manera como firmas y personas gestionan su información.

Por su parte, Henderson & Clark, (1990) desarrollan otro sistema de clasificación también de cuatro categorías, esta vez eliminando la variable mercado del sistema al asumir que el proceso de innovación en la organización es un proceso interno, donde de la investigación y desarrollo de la organización son la fuente principal para la creación de componentes y nuevas combinación de componentes. Un componente se refiere a cualquiera de los elementos constitutivos de un producto, proceso o sistema de producción disponible en una organización.

		Componentes	
		Nuevos	Actuales
Relación entre componentes	Nuevos	Radical	Arquitectónica
	Actuales	Modular	Incremental

*Figura 2.2. Innovación según la relación entre componentes de un producto*  
Fuente: Henderson & Clark (1990).

La Figura 2.2 presenta una configuración similar en relación con la matriz de Abernathy & Clark, para el caso, Henderson & Clark, (1990) introducen cuatro nuevas tipologías construidas a partir de las posibles combinaciones entre los ejes de la matriz, las cuales son explicadas por los autores en el marco de la industria de los ventiladores. Así, las dos primeras relaciones corresponden a categorías tradicionales en el ámbito de la innovación, por una parte se encuentran las innovaciones radicales, las cuales refieren la introducción de nuevas tecnologías junto con nuevas formas o combinaciones de las mismas que resultan en la emergencia de un producto o proceso nunca antes visto y que a su vez mejora significativamente las características competitivas de un mercado y sus competidores. Suele ser difícil identificar ejemplo precisos que describan innovaciones radicales puras, dada la tradición histórica en el desarrollo de los componentes o relaciones de componentes de un producto, no obstante Henderson & Clark, (1990) identifican al aire acondicionado en relación con los ventiladores tradicionales, dentro de esta categoría.

De otra parte, se encuentran las denominadas innovaciones incrementales (Henderson & Clark, 1990), además de ser siempre precedidas por una innovación radical cumplen un propósito de optimización por encima de uno de crecimiento, es decir que las innovaciones incrementales emergen a partir de mejoras introducidas a los componentes y relaciones entre los ya disponibles. Algunos ejemplos en la industria de los ventiladores son los motores eléctricos, el sistema de

reducción de ruido, las mejoras en el diseño de las aspas entre otros. Si bien las innovaciones incrementales generan impactos en menor escala son imprescindibles en el mejoramiento de cualquier nuevo producto o proceso.

Las dos tipologías de innovación restantes obedecen a la novedad propia del modelo de Henderson & Clark, (1990), así, las innovaciones modulares emergen de la integración de nuevos componentes a relaciones de componentes ya existentes, de ahí el nombre de modular; este tipo de innovación representa un cambio sustancial en el diseño de un componente en un producto o sistema, donde el nuevo diseño se ajusta fácilmente a las configuraciones actuales del producto. Entre los ejemplos de innovaciones modulares, Henderson & Clark (1990) identifican los teléfonos digitales en relación con la tecnología anterior de telefonía analoga. Por último, las innovaciones arquitectónicas emergen de la introducción de nuevas relaciones o formas de combinación sobre componentes ya disponibles; estas innovaciones realizan una modificación entre las interrelaciones técnicas del producto logrando un mayor grado de sofisticación del mismo. Como Ejemplo de innovaciones arquitectónicas Henderson & Clark, (1990) identifican el ventilador portátil pues aun cuando cumple la misma función de ventilador de energía eléctrica, su arquitectura y diseño es significativamente diferente.

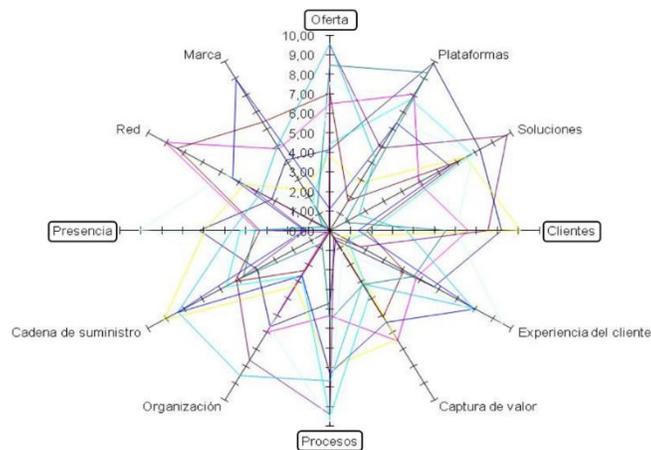
Christensen, (1997) propuso una tipología adicional de innovación al indagar las razones por la cuales las firmas en su mayoría no logran mantener en el largo plazo su dominio en el mercado, aun cuando están bien dirigidas, escuchan a sus clientes e invierten considerables sumas de dinero en investigación y desarrollo. Como conclusión, Christensen, (1997) caracteriza dos tipos de innovación: (i) las innovaciones de sostenimiento para referirse a el conjunto de transformaciones

que en general proveen aquello que ya existe y emergen como alternativas de sofisticación, facilidad, acceso, entre otros, para el cliente cuando este ya no está dispuesto a pagar por el producto o servicio actual, y (ii) las innovaciones disruptivas o aquellas innovaciones que crean nuevos mercados y redes de valor que a diferencia de las innovaciones revolucionarias rompen las estructuras tradicionales desplazando los líderes y alianzas preestablecidas en ese mercado.

Como última tipología, a partir de la emergencia de las denominadas firmas de servicios y las economías basadas en el conocimiento (Gera, 1998) se hizo necesaria la actualización del Manual del Oslo a una versión donde las nuevas manifestaciones de innovación se hicieran tangibles (Sánchez & Castrillo, 2006), dado que aspectos como el modelo de negocio (Chesbrough & Rosenbloom, 2002) en las firmas se convirtieron en los nuevos portadores de innovaciones. En tal sentido, un renovado manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005) integraría dos tipos adicionales de innovación, i) la innovación organizacional, para referirse a nuevas configuraciones de modelos de negocio, y ii) las innovaciones de mercado, que se orientan a la relación entre el cliente y la organización.

No obstante, las 4 diferentes tipologías propuestas por el Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005), no explican con suficiencia la heterogeneidad de las innovaciones en el ámbito de la organización (Keeley, Walters, Pikkell, & Quinn, 2013). Para atender la situación, Sawhney, Wolcott, & Arroniz, (2006) desarrollaron una clasificación de tipologías de innovación explicadas como vías a través de las cuales las organizaciones pueden innovar; como se observa en la Figura 2.3, un sistema de radar expone las 12 diferentes vías de la innovación como una

versión ampliada de las 4 categorías establecidas en el Manual de Oslo las cuales se evidencian en los extremos de cada eje en el radar.



**Figura 2.3. Las 12 vías para la innovación**  
Fuente: Sawhney, M., Wolcott, R & Arroniz, I. (2006).

Cada una de las tipologías se explica de la siguiente manera:

- *Oferta*: Hacen referencia a los nuevos o mejorados productos y servicios que la empresa ofrece a sus clientes; en esta vía el diseño de nuevas ofertas supone la creación de un alto valor en los clientes.
- *Plataforma*: Se trata de crear nuevas ofertas a partir de la modularidad, valiéndose de estructuras y componentes comunes en la organización en vez de partir de un diseño completamente nuevo.
- *Soluciones*: Es la creación de ofertas integradas entre productos, servicios e información que por su estructura generen soluciones efectivas a las necesidades de los clientes.
- *Clientes*: Se trata de descubrir necesidades a partir de insatisfacciones sentidas que no ha sido verbalizadas en un contexto de mercado, llevando al develar nuevos segmentos de clientes no atendidos.

- *Experiencia del cliente:* Se trata de diseñar estructuras de interacción con el cliente que integren todo aquello que este observa, oye y siente en una interface con los productos o servicios.
- *Captura de valor:* Hace referencia a nuevos o mejorados sistemas como la empresa obtiene sus ingresos, se encuentra fuertemente relacionado con el modelo de negocio y el desarrollo de interacciones productivas con el entorno.
- *Procesos:* Hace referencia al rediseño del conjunto de actividades en el núcleo operativo de la empresa a fin de mejorar la eficiencia, eficacia y efectividad.
- *Organización:* Se evidencia a partir de cambios estructurales en las funciones, formas y actividades de una empresa.
- *Cadena de suministro:* Es introducir nuevas o mejoradas formas de operar el sistema de entrega de producto o servicio desde la fuente hasta el destino.
- *Presencia:* Es el diseño de nuevo o mejorados canales de distribución o puntos de presencia donde los clientes compran.
- *Networking:* Es el aprovechamiento de la red existente entre la empresa, sus productos, sus clientes a fin de generar valor para todos.
- *Marca:* Se trata de llevar aspectos como la promesa de venta, el brand equity, y la imagen corporativa a nuevas instancias en los clientes y el mercado.

Como cierre de la sección, a fin de proporcionar un esquema transversal de las tipologías de innovación desarrolladas, se presenta una matriz de resumen refiriendo el número de categorías, su nominación y respectiva clasificación (Tabla 2.2).

**Tabla 2.2.**  
Resumen de tipologías de innovación

	<b>Autores</b>	<b>Numero de categorías</b>	<b>Nominación</b>
<b>Corriente principal</b>	OCDE, (1995)	Dos	Producto y Proceso
	OCDE, (2005)	Cuatro	Producto, Proceso, Mercadotecnia y Organización
<b>Alternativas</b>	Abernathy & Clark, (1985)	Cuatro	Arquitectónicas, Creadoras de nicho, Revolucionarias y Regulares
	Henderson & Clark, (1990)	Cuatro	Radicales, Incrementales, Arquitectónicas y Modulares
	Christensen, (1997)	Dos	Innovaciones de sostenimiento e innovaciones disruptivas
	Sawhney, Wolcott, & Arroniz, (2006)	Cuatro	Oferta, Clientes, Procesos y Presencia

*Fuente: Elaboración propia*

### 2.3. Modelos de proceso innovador

Las aproximaciones de Schumpeter (1939) respecto del papel de las innovaciones en el desarrollo económico de los países y las firmas, llamarían la atención de académicos, políticos, directivos y empresarios interesados en comprender fenómenos capaces de generar crecimiento económico y rentabilidad sostenible en el tiempo. Para el caso del directivo, uno de los principales retos se centró en la representación de modelos de innovación que explicaran este fenómeno, para así hacerlo gestionable por cualquier organización. En atención a este desafío, Burns & Stalker (1961) desarrollaron uno de los primeros modelos formales para la comprensión de innovación y tecnologías en la organización, donde la naturaleza de ambos fenómenos guarda correspondencia con dos tipos posibles de organización, (i) la orgánica y (ii) la mecánica.

En consecuencia a las aproximaciones de Burns & Stalker, (1961), el abordaje de la innovación como proceso en la organización demarcó un subcampo de investigación enfocado en profundizar la descripción y estructuración del fenómeno de la innovación a fin de hacerlo explícito, medible y replicable de manera estructurada, además de sustancial para el desarrollo de ventaja competitiva

en la organización (Porter, 2001). Como icono de este subcampo, sobresale el lanzamiento de la primera versión del documento de la OCDE denominado Manual de Oslo (OCDE, 1993) el cual atendió a esta problemática al unificar los principales aspectos relacionados con la innovación en el ámbito de la organización en un documento guía que incorpora definiciones, perspectivas y sistemas de medición, además de formular la clasificación de los dos tipos de innovación propuestos previamente por Schumpeter (1939), las denominadas innovaciones radicales y las incrementales. La versión más reciente del Manual del Oslo publicada en el 2005, introdujo un conjunto importante de modificaciones sobre la comprensión del proceso innovador en la organización como aquel que sucede e impacta tanto la estructura como el mercado donde esta se desenvuelve (Sánchez & Castrillo, 2006) lo que representa abordar el problema de las innovaciones desde una perspectiva abierta congruente con el marco teórico de los sistemas organizacionales.

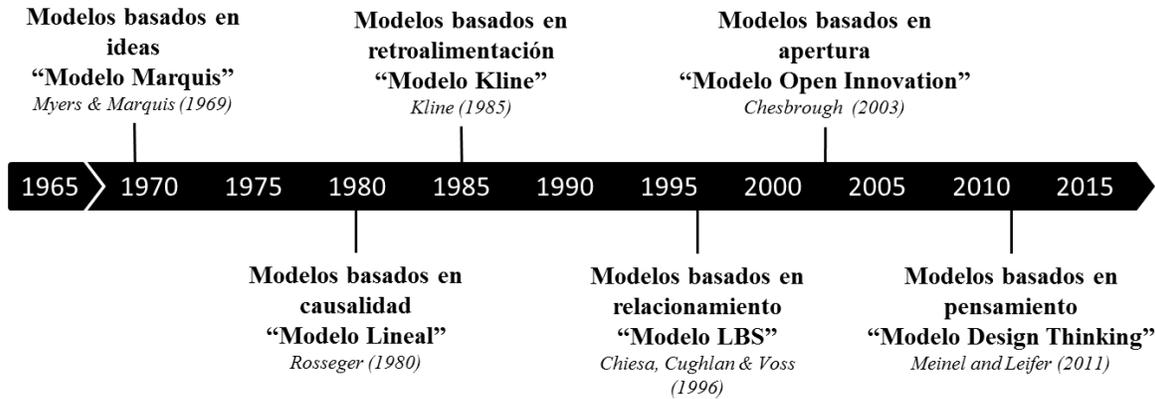
El desarrollo del Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005) junto con las aproximaciones teóricas del autores como Afuah, (1999), Hamel (2001), Porter (2001), Senge (1999) y Van de Ven & Poole, (2004), conformaron los primeros avances en la caracterización del fenómeno de las innovaciones en la organización, sus elementos articuladores y metodologías de medición, orientando la delimitación preliminar del campo de estudio hacia una perspectiva de resultado, donde el conjunto de factores determinantes para el logro de innovaciones, se concentra en los recursos y capacidades que cada organización dispone para este fin. Si bien la noción de innovaciones desde una perspectiva de resultado propone reflexiones interesantes alrededor del campo, resulta también interesante el estudio de las relaciones e interacciones entre los recursos y capacidades de la organización que generan la emergencia de innovaciones.

Ante la pregunta de ¿cómo la organización puede innovar?, una aproximación enfocada exclusivamente al resultado elimina del plano de observación el conjunto de fenómenos que suceden al interior de la – Caja Negra –, es decir en la intersección entre la decisión deliberada de la organización por innovar, y el logro efectivo de innovaciones. Para lo cual, resulta necesario integrar la noción de proceso a la caracterización y comprensión del problema, a fin de tener una perspectiva ampliada del mismo.

Drucker (1985) caracterizó la innovación en el desarrollo deliberado de procesos sistemáticos que permiten su gestión de manera formal, así, al definir la innovación como un aspecto de relevancia directiva, la integración de una estructura formal en la organización que permita direccionar la obtención de la misma resulta una actividad prioritaria y necesaria. En síntesis, la aproximación al problema de la innovación desde una perspectiva de dirección integra al menos dos dimensiones de igual importancia: i) innovación como el resultado final de un conjunto de actividades de agregación a través de la cadena de valor, lo que en adelante llamaremos *innovaciones* y 2) la innovación como un proceso interno susceptible de ser dirigido de manera deliberada hacia el logro de objetivos estratégicos de crecimiento en la organización.

La dimensión de la innovación como proceso o como se denominará en adelante *proceso innovador* además de ser el interés central de este documento ha sido materia de estudio de una amplia variedad de autores que, impulsados por el atractivo de las ventajas competitivas y el logro de desempeños superiores atribuibles a la emergencia de innovaciones en la organización, buscan caracterizar mediante modelos formales la manera como esta logra innovar. En efecto, los

esfuerzos por desarrollar modelos de proceso innovador que expliquen y promuevan la emergencia de innovaciones en la organización han sido una actividad continua desde finales de los 80 (Velasco, Zamanillo, & Gurutze, 2007) que ha traído frutos desde diferentes perspectivas de abordaje.



**Figura 2.4. Línea de tiempo de modelos de proceso innovador**  
Fuente: Elaboración propia

La Figura 2.4 presenta un esquema que clasifica seis de los modelos de proceso innovador más representativos en el campo, el criterio de clasificación corresponde con la problemática que subyace a la explicación del modelo, además de guardar una evolución temporal que también evidencia la pertinencia del estudio de modelos de proceso innovador como problema de investigación. El modelo Marquis (Myers & Marquis, 1969) a pesar de ser el más antiguo de todos, evidencia una estructura dinámica y abstracta del proceso innovador en la organización originado a partir de una idea (Ver Figura 2.5).

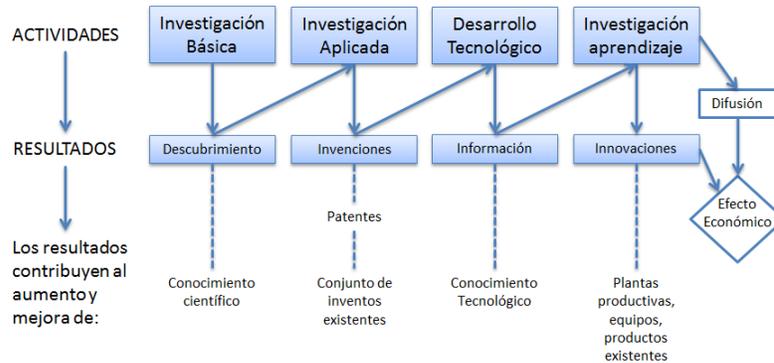


**Figura 2.5. Modelo Marquis de proceso innovador**  
 Fuente: Myers & Marquis (1969)

De Bono, (1991) menciona que el origen de cualquier creación es una actividad no lógica resultado de la reflexión humana, por tal razón un computador no podría ser innovador por sus propios medios. Así, idea e innovación guardan una relación estrecha. Por otra parte, el modelo integra variables exógenas asociadas al entorno de la organización, lo que indica que el proceso innovador no es solo resultado de una estructura interna, sino también de la influencia de variables externas que se modifican en función del tiempo, como se observa a partir de las dos líneas gruesas que delimitan el modelo de origen a fin. Por último, el modelo expone un enfoque al mercado y al desarrollo de productos en función de las necesidades que se pueden identificar, con lo cual se significa que una de las principales fuentes de innovaciones al interior de una organización es el departamento comercial.

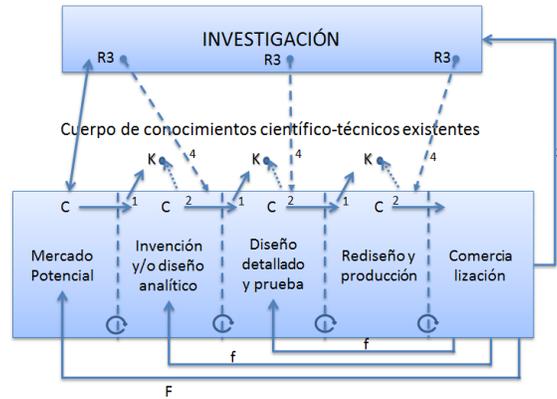
El segundo modelo, o modelo lineal (Rosegger, 1980) reconoce el proceso innovador como una actividad lineal y secuenciada, la cual opera como una cadena de actividades y resultados originada en la etapa de investigación hasta llegar a un producto final que tendrá un efecto económico en la firma (Ver Figura 2.6). Si bien es un modelo lejano de la realidad al asumir un único camino a la

innovación el cual parte de procesos formales de investigación básica, se constituye como herramienta útil para aproximarse a la generalidad de proceso.



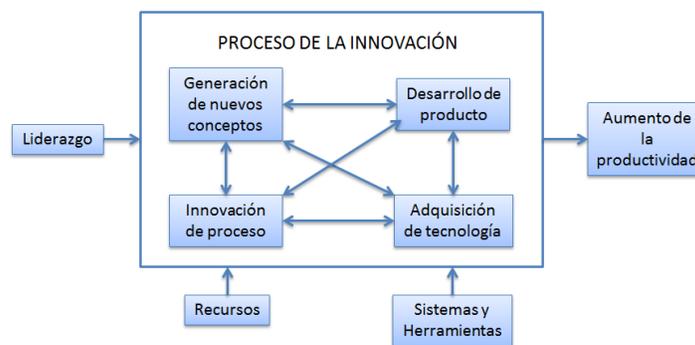
**Figura 2.6. Modelo lineal de proceso innovador**  
Fuente: Rosegger (1980)

El tercer modelo o modelo Kline (Kline, 1985; Kline & Rosenberg, 1986) desde una perspectiva estructural es uno de los más completos que se ha diseñado al describir el proceso innovador no solo como una secuencia de actividades formales y vinculadas, sino principalmente como un conjunto de acciones de realimentación y aprendizaje (Ver Figura 2.7). A su vez, el modelo Kline trata de exponer la complejidad del proceso innovador describiéndolo en una estructura de múltiples interrelaciones que referencian la existencia de al menos cinco posibles caminos para desarrollar el proceso innovador en la firma, todos igualmente importantes, los cuales a su vez se pueden dar en paralelo independientemente del estado del proceso.



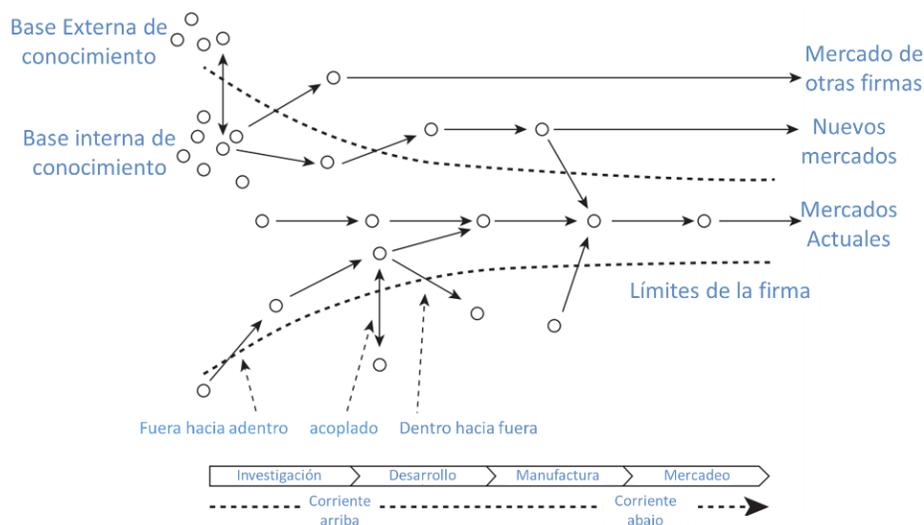
**Figura 2.7. Modelo Kline de proceso innovador**  
 Fuente: Kline, (1985) y Kline & Rosenberg, (1986)

El cuarto modelo, o Modelo London Business School (Chiesa, Coughlan, & Voss, 1998) se caracteriza por presentar el proceso innovador a la manera de un sistema, proponiendo cuatro procesos principales que se realimentan entre sí y de forma interrelacionada llevan a la emergencia de innovaciones sin describir un punto de origen único y particularizado (Ver Figura 2.8). Lo interesante del modelo, es que integra las funciones internas críticas del proceso innovador, comprende la observación de productos, procesos y tecnologías, y en adición la oportunidad de nuevos desarrollos en todos los frentes además expone variables externas que también están relacionadas con el proceso y que inciden en sus resultados.



**Figura 2.8. Modelo London Business School de proceso innovador**  
 Fuente: (Chiesa et al., 1998)

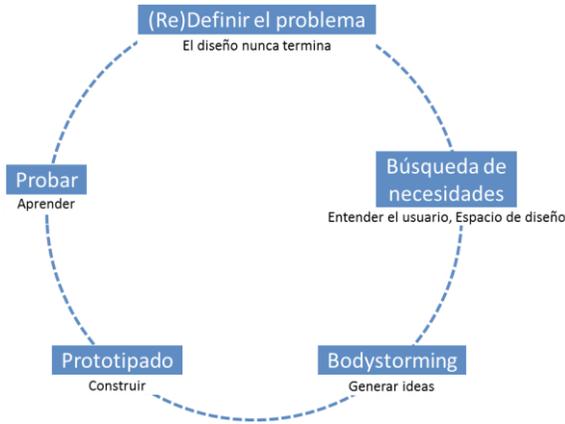
El quinto modelo, o Modelo open innovation (Chesbrough & Bogers, 2014) se caracteriza por presentar el proceso innovador como una estructura combinada que desde sus orígenes integra la base de conocimiento propia de la firma, con una base externa de conocimiento, ambas enfocadas a la atención del mismo proyecto de investigación y desarrollo (Ver Figura 2.9). Según Chesbrough, (2003) la posibilidad de apropiar una inteligencia colectiva para el desarrollo de proyectos de innovación en la firma, abriendo las fronteras de desarrollo de las compañías, resulta más efectivo que tratar de generar innovaciones de forma cerrada donde la posibilidad de alternativas de desarrollo a los proyectos de I+D son financiadas con recursos propios de la firma además de provenir exclusivamente de un equipo limitado de expertos en el tema. Respecto de las salidas, la inclusión de una amplia variedad de actores le permite a la firma cruzar las barreras de su mercado actual identificando opciones de innovación tanto en mercados atendidos por firmas competidora como nuevos mercados no explorados contrario a los modelos cerrados donde los proyectos comienzan de manera interna y terminan en la misma vía.



**Figura 2.9. Modelo de innovación abierta de proceso innovador**  
Fuente: (Chesbrough & Bogers, 2014)

El sexto modelo, o Modelo Diseño de pensamiento (Meinel & Leifer, 2011) se caracteriza por apropiarse algunos elementos básicos del campo del diseño industrial para generar una estructura que procura el desarrollo de innovaciones en la organización (Ver Figura 2.10). El proceso inicia con la definición del problema el cual por sus características nunca finaliza, es decir que la solución a problemas en la organización supone nuevos problemas a futuro una vez esta ha experimentado las reflexiones del entorno. Con el problema definido se procede a establecer el espacio de diseño que se describe por el conjunto de necesidades potenciales de los usuarios o clientes, posteriormente se realiza un – bodystorming – que corresponde a una actividad propia del modelo donde un equipo de personas, pueden ser expertos o clientes comunes, imaginan el conjunto de atributos que les gustaría de un producto si este existiera, y actúan en función de su existencia imaginaria para identificar funcionalidad, ventajas y desventajas.

Con los resultados del Bodystorming se realiza el prototipado, que se refiere a la materialización del producto o servicio ya no en un escenario imaginario sino por el contrario como un producto o proceso real donde el cliente puede tomarlo con la mano y elaborar juicios más acertados respecto de los detalles del mismo. Por último se pasa a la fase de prueba, en esta se realiza un experimento controlado con algunos clientes o usuarios potenciales los cuales viven la experiencia del producto o proceso e interactúan con el propósito de proponer nuevos problemas para ser desarrollados un nuevo ciclo, los resultados de cada ciclo emergen como posibles innovaciones radicales o incrementales según sea el desempeño de las nuevas características adicionadas al producto o proceso en relación con sus clientes o usuarios.

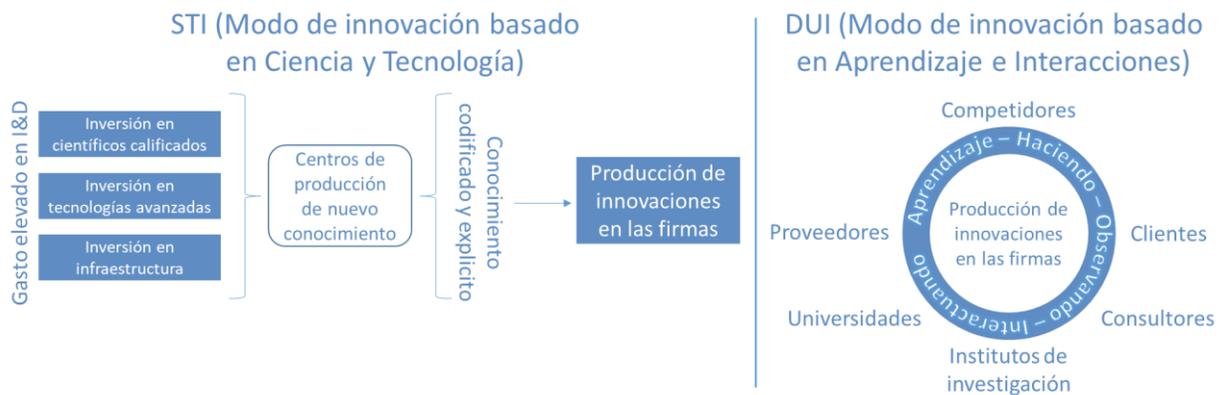


**Figura 2.10. Modelo de diseño de pensamiento de proceso innovador**  
*Fuente: (Meinel & Leifer, 2011)*

Por último, resulta de interés presentar una de las acepciones recientes a dos de los modelos genéricos previamente presentados (el modelo lineal y el modelo de relaciones del London Business School), por converger en la reciente discusión sobre cuáles son los modos efectivos para la producción de innovación en las firmas. En este ámbito, Parrilli & Alcalde Heras (2016) presentan dos modos para la producción de innovación: (i) el modo de innovación basado en Ciencia y Tecnología (construido a partir de la noción lineal de la innovación) y (ii) el modo de innovación basado aprendizaje e interacciones (construido a partir de la noción relacional de la innovación) los cuales partiendo de supuestos diferentes, permiten por su estructura la producción de innovaciones en las firmas de un país, donde, según Parrilli & Alcalde Heras (2016) el modo STI se enfoca principalmente en las denominadas innovaciones de producto y proceso, mientras que el DUI lo hace en las innovaciones organizacionales y de mercados.

Como lo presenta la figura 2.11, el modo STI construido a partir de las reflexiones de Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall (2007), identifica a la inversión intensiva en I+D como la fuente principal para la producción de innovaciones en las firmas. En esta vía, un mayor presupuesto

supone una mayor interacción entre los centros de producción de conocimiento (Universidades, centros de investigación, brókeres científicos y fundaciones) quienes cuentan con la capacidad de generar conocimiento codificado y explícito, y las firmas que pueden utilizarlo para producción de innovaciones (Parrilli & Alcalde Heras, 2016). De la misma manera, el modo DUI (ver figura 2.11) construido a partir de las reflexiones de Fitjar & Rodríguez-Pose (2013), la producción de innovaciones recae en la capacidad que tienen las firmas para generar relaciones formales e informales de intercambio interno e interacciones con los principales grupos de interés, tales como proveedores, clientes y competidores (Parrilli & Alcalde Heras, 2016).



**Figura 2.11. Modelos de innovación STI y DUI**

*Fuente: Elaboración propia a partir de Fitjar & Rodríguez-Pose, (2013); Jensen, Johnson, Lorenz, & Lundvall, (2007) y Parrilli & Alcalde Heras, (2016).*

Como resultado de la revisión en la evolución de los modelos anteriormente mencionados, es posible observar un conjunto de elementos comunes al desarrollo de cada modelo que para efectos de esta tesis se constituyen como esenciales para el modelo a proponer. La Tabla 2.3 presenta un comparativo general de características por cada uno de los modelos descritos, las cuales se pueden sintetizar en tres aspectos centrales: i) una estructura que describe la manera como el proceso fluye,

ii) un paradigma de pensamiento sustentado por un marco teórico de referencia, y iii) un método formal que justifique la estructura del modelo y su relación con la realidad.

Así, los modelos de proceso innovador representan entonces un mecanismo formal y comúnmente utilizado para construir explicaciones posibles a la forma como la organización innova. En efecto, y como se presentó anteriormente, los desarrollos en este ámbito refieren una recurrencia histórica que va más allá de principios de los 80, evidenciando la importancia de esta problemática en el desarrollo efectivo de cualquier organización.

**Tabla 2.3**  
*Resumen de principales modelos de proceso innovador*

<b>Modelos / Característica</b>	<b>Basados en linealidad</b>	<b>Basados en ideas</b>	<b>Basados en realimentación</b>	<b>Basados en relacionamiento</b>	<b>Basados en Apertura</b>	<b>Basados en Pensamiento</b>
<b>Alineación con Paradigma o modelo de pensamiento</b>	Pensamiento lógico, linealidad y la causalidad	Pensamiento lógico, linealidad y la causalidad	pensamiento sistémico y sistemas abiertos	pensamiento sistémico e interacciones entre componentes	pensamiento complejo y la emergencia de nuevas relaciones	pensamiento complejo y la emergencia de novedad
<b>Soporte empírico y científico</b>	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en industrias	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en industrias	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en industrias	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en organizaciones y estructuras de gobierno	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en firmas de diferentes tipos	El modelo fue construido a partir de una validación empírica en sistemas de ingeniería y diseño
<b>Aparato explicativo</b>	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde la casuística	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde la creatividad	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde los ciclos de mejoramiento de procesos	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde la interacción del entorno y sus elementos	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde la noción de acumulación	El modelo cuenta con un aparato explicativo desde la ingeniería

*Fuente: Elaboración propia*

## 2.4. Innovaciones y complejidad

La exploración del conjunto de propiedades emergentes, dinámicas y discontinuas el fenómeno de la innovación y el proceso innovador de las organizaciones ha sido un esfuerzo reiterado desde finales de los sesenta (Burns & Stalker, 1961), que complementado con las aproximaciones evolutivas de Nelson & Winter (1977) desde la teoría económica demarcaron un nuevo escenario

para el estudio de este tema. En efecto, los trabajos de Rosenberg, (1969, 1983), Arthur, (1989, 2009) y Lane & Maxfield (1997) evidencian la pertinencia de construir reflexiones desde los sistemas complejos naturales hacia los sistemas complejos sociales, particularmente en procesos como la innovación y la tecnología. Así, el fenómeno de la destrucción creativa (Schumpeter, 1942), como base estructural de este campo, se comporta como un proceso de complejidad creciente donde la emergencia de transformaciones esencialmente cualitativas en los sistemas económicos se presenta de manera espontánea, indeterminada y como resultado de procesos de interacción entre diferentes agentes de un sistema.

Schumpeter, (1939) se refería a la innovación como ráfagas de destrucción creativa por las que nacen nuevos bienes y mueren otros antiguos. Lo que Kauffman (2003) complementa indicando que “tales ráfagas siguen una distribución en forma de ley de potencia con muchas avalanchas pequeñas y un reducido número de avalanchas grandes” (p. 291). En efecto, el proceso innovador opera bajo ambos mecanismos, por una parte, los denominados ciclos de innovación (Abernathy & Clark, 1985) o transiciones de fase hacia un nuevo estado resultan característicos tanto en los sistemas vivos como en la organización; respecto de los efectos en las ráfagas, son describibles como innovaciones radicales e incrementales, las cuales se comportan de la misma manera como lo describe Kauffman (2003), acumulados de innovaciones incrementales donde las frecuencias de emergen decrecen a medida que el sistema evoluciona, hasta un punto donde se ven reemplazadas por una nueva gran avalancha o innovación radicales (Escorsa & Valls, 2003). Tal es el poder transformativo de estas avalanchas que en ocasiones tiene la capacidad de eliminar del mercado a competidores que lograron ser flexibles ante el nuevo estado, tal es el caso de las denominadas innovaciones de ruptura (Christensen, 1997).

La introducción de la denominada economía evolutiva en las ciencias económicas (Nelson & Winter, 1982) transformó la comprensión de los fenómenos de la firma, de estáticos y determinados a un conjunto de rutinas emergentes desde la organización, las cuales al estar relacionadas con las condiciones variables del entorno desarrollan un – ajuste diferente – entendido como transformaciones en los bienes y servicios. Es decir que el fenómeno económico evidencia una variación constante en relación con estados anteriores (Nelson & Winter, 1982) que contrasta con las propiedades dinámicas y transformativas propias del proceso de innovación descrito por Schumpeter, (1939).

El estudio de la innovación como un fenómeno complejo se ha propagado a través de dos caminos de estudio paralelos, pero estructuralmente distintos. Por una parte se encuentran trabajos como los de Gottfredson & Aspinall (2005), los cuales abordan la complejidad como un aspecto inherente a la estructura de operación de la organización, al asumir que la complejidad está dada por el número de elementos que se vinculan a un proceso innovador. Así, se establece una relación directamente proporcional entre el número de elementos vinculados al proceso innovador y el grado de complejidad del mismo, un mayor número de elementos representa un mayor grado de complejidad.

El segundo camino, aborda la complejidad como una propiedad de las innovaciones y el proceso innovador, complementando el marco teórico sobre el cual se ha estudiado este fenómeno. Así, el estudio de la emergencia, la dinámica, el comportamiento cíclico y la discontinuidad propios de la innovación, además de soportar la caracterización de este fenómeno como no-lineal,

lo alinean con algunos de los principales problemas de estudio en el ámbito de los sistemas complejos y la complejidad. Como uno de los trabajos seminales entorno al tema, Arthur, Durlauf, & Lane (1997) presentaron seis características que enmarcan a las innovaciones como procesos emergentes y complejos desde la perspectiva económica, a fin de construir un marco de referencia que facilite su estudio. Estas características son:

- Interacciones dispersas de múltiples agentes heterogéneos.
- Inexistencia de un control global.
- Múltiples niveles de interacción y organización que generan una jerarquía emergente.
- Continúa adaptación basada en experiencias e interpretaciones del contexto donde interactúan los múltiples agentes.
- Generación de nuevos mercados, nuevas tecnologías, y nuevas instituciones (Novedad perpetua).
- Generación continua de nuevos potenciales y oportunidades, mediante el cual el sistema continuamente opera fuera del equilibrio.

La construcción de un marco referencial para el estudio de las innovaciones en condiciones de no linealidad, dio paso a desarrollos en este campo como los realizados por Fonseca, (2002); Lane & Maxfield, (2005); Lane, Maxfield, Read, & Van der Leeuw, (2009); Lane, Serra, Villani, & Ansaloni, (2006) y Stacey, (1997) quien argumenta haber formulado los cimientos para una teoría compleja de la innovación. Para los demás casos, los autores conciben la innovación como un proceso mediado por la incertidumbre, donde los factores contextuales y estructurales de la organización guardan un rol determinante en la emergencia de las mismas, sin que este sea

efectivamente decisivo para su desarrollo. En síntesis, la articulación de recursos propicios para la emergencia de innovaciones no necesariamente garantiza su existencia.

En sus inicios, el estudio de la innovación como fenómeno complejo se enfocó en el desarrollo de caracterizaciones metafóricas, que desde tres de las propiedades de los sistemas vivos: (i) la emergencia, (ii) la noción de estructuras disipativas y (iii) la auto-organización, permitieron edificar algunas de las bases que lo consolidan hoy como problema de estudio. La emergencia, hace referencia a una de las principales propiedades de los sistemas complejos (Maldonado, 2005), que se pone de manifiesto cuando un número de entidades o agentes que opera en un entorno, crea patrones o comportamientos observables de manera colectiva (Levin, 2005), los cuales no necesariamente guardan una correspondencia lineal entre el conjunto de entradas y las salidas. En un contexto de innovación, Fonseca (2002) indica que la emergencia hace referencia a la construcción espontánea de nuevos procesos y estructuras sociales derivados de la interacción entre los diferentes agentes de un sistema, que converge en la generación de novedad, vinculando esta propiedad a un proceso de relacionamiento. Tal es el vínculo establecido entre los agentes y su estructura, que se define la innovación como la continua emergencia y transformación de los patrones de interacción humana (Stacey, 1997).

En relación con las estructuras disipativas, Prigogine & Stengers, (1990) sugieren su definición como un sistemas que solo son posibles en conjunción con su entorno, donde el proceso de disipación o para el caso transformación es aquel que hace posible la existencia de un orden o equilibrio dinámico. Esta perspectiva en el ámbito de la innovación converge entorno a la denominada – paradoja de la innovación – (Fonseca, 2002), es decir que la actividad de innovar

crea principalmente inseguridad e inestabilidad en la organización y su entorno, no obstante y al mismo tiempo, es un mecanismo de creación de seguridad y estabilidad en la organización. La presencia de innovaciones, su transformación y reemplazo, representa la disipación constante de energía de los sistemas dando paso a la construcción de ciertos patrones de orden dinámico reflejados en ciclos de innovación como los descritos por (Abernathy & Clark, 1985), o las curvas de desarrollo de innovaciones, y los saltos tecnológicos descritos por (Foster, 1986), ambos, en el ámbito de la innovación.

Por último en lo referente a la auto-organización, Fonseca (2002), se aproxima a la innovación en el marco de los CRP – complex responsive process – o procesos complejos responsivos. La teoría de los CRP desarrollada por (Stacey, 2000), hace una aproximación desde la complejidad a la comprensión de las interacciones humanas, para ello establece que la novedad y continuidad de los patrones sociales construidos en los sentimientos, el comportamiento y el pensamiento tanto del individuo como de los grupos, emerge espontáneamente como resultado de un proceso de auto-organización y no de un proceso organizado o de control. Por su parte, Fonseca, (2002) plantea que las innovaciones son en principio, un proceso cognitivo, es decir que se originan en la mente de los individuos que identifican necesidades de la organización y de mercados insatisfechos las cuales simplemente emergen espontáneamente como nuevos significados resultado de la interacción de estos mismos componentes, dándole un giro de 180 grados a muchas de las concepciones tradicionales acerca del desarrollo del proceso innovador controlado, producto de un diseño establecido.

Los trabajos de Johnson, (2011) proporcionaron una introducción hacia una perspectiva biológica de las innovaciones tomando como referente varios de los paradigmas propios del estudio de la complejidad, lo que supone el proceso innovador como un fenómeno que emerge y alejado del equilibrio. Su trabajo se enfoca en construir explicaciones para la emergencia de innovaciones, para ello, se vale de parte del acervo teórico de las ciencias de la complejidad tomando aspectos como las redes, los adyacentes posibles y las exaptaciones. Al respecto de las redes, Johnson, (2011) acota el término de redes líquidas para indicar que las innovaciones no son procesos aislados, sino por el contrario suceden como resultado de interacciones de diferente tipos; antes de los libros, y la red internet, la forma como se articulaban las sociedades y las culturas, y a partir de ello se generaban innovaciones, era a partir de estructuras de red que por la interacción de diferentes agentes permitían la emergencia de elementos antes no dimensionados.

El valor de liquidez se refiere a la robustez de las relaciones entre los individuos de la red, los cuales a pesar de ser individuales e independientes siempre responden a una estructura que los articula. Otro concepto que desarrolla Johnson (2011) es el de adyacentes posibles, el cual indica la forma como según Kauffman, (1996) los agentes autónomos actúan e interactúan para propagar la organización en la biosfera. En otras palabras, las innovaciones emergen gracias a que los sistemas vivos apuestan por alguno de sus caminos posibles. No obstante, los adyacentes posibles también están hechos de partes ya existentes, que cumplen funciones de restricción, para lo cual los cambios graduales son una actividad común a los procesos de transformación y emergencia de innovaciones. Por último, Johnson (2011) realiza una aproximación a las innovaciones tomando como referente la biología evolutiva, particularmente explorando un patrón evolutivo denominado

exaptaciones, el cual, por tratarse de uno de los temas centrales de este texto, se desarrollará en la siguiente sección.

## **2.5. Biología, evolución y transformación: Un marco de referencia para el estudio de las innovaciones**

La posibilidad de tomar a la biología como marco válido para la comprensión de fenómenos organizacionales tales como el proceso innovador, parte de las reflexiones presentadas por Bel-Enguix & Jiménez-López (2011), Floreano & Mattiussi (2008), Sreelakshmi & Preetha (2016) y Yang, Cui, Xiao, Gandomi, & Karamanoglu, (2013) quienes desde la ingeniería proponen la construcción de modelos o sistemas denominados – bio-inspirados – capaces de apropiarse de mecanismos y características presentes en la naturaleza para explicar fenómenos de connotación artificial, lo cual supone la apropiación de un lenguaje natural para ser reinterpretado en un lenguaje formal.

Al analizar el proceso innovador en las organizaciones y su consonancia con el comportamiento de los sistemas vivos, resaltan los procesos y mecanismos desarrollados por las especies para (i) incrementar su éxito reproductivo, y (ii) para ajustarse a las condiciones cambiantes del entorno. Para ambos casos, los sistemas vivos actúan introduciendo transformaciones estructurales en sus características las cuales implican no solo el mejoramiento de algunos de los atributos actuales sino la introducción de nuevos atributos (Wood, 2009), que resultan equiparables a las formas de innovaciones mencionadas por Schumpeter, (1939) y posteriormente las de la OECD & EUROSTAT (2005) en el ámbito de la organización. Dado este contexto, la noción de transformación en biología evolutiva, y el proceso de innovación en las organizaciones, evidencia en principio una posible paridad ontológica.

En efecto, Sengupta (2014) describe las formas de innovación de Schumpeter (1939) a la manera de mecanismos de ajuste y transformación evolutiva clasificados en dos etapas: (i) innovación y (ii) adaptación; así, la innovación emerge con la introducción de nuevas rutinas en el entorno las cuales reemplazan a las anteriores, su difusión inicia si esta nueva rutina favorece a los actores (adoptadores) del sistema quienes deciden retirar la anterior. Respecto de la adaptación, descrita como un mecanismo de selección entre las rutinas disponibles, dado que la innovación es un proceso creciente y paralelo. Como consecuencia, Según el autor, “La interrelación dinámica entre ambos mecanismos genera la evolución de una economía” (Sengupta, 2014, p.66)

Trascendiendo las barreras explicativas de la metáfora – biología / transformación / innovación – autores como Arthur (2009), Frenken (2006), (Wagner 2011) y Ziman, 2000) además de proponer en sus textos la noción evolutiva de la innovación como una posible teoría explicativa de este fenómeno, desarrollan una explicación detallada de porqué la transformación de los sistemas vivos y la innovación, resultan ser el mismo concepto. En particular, Wagner (2011) identifica tres diferentes clases de sistemas vivos: (i) los metabólicos, (ii) los de regulación, y (iii) los moleculares, para explicar cómo desde el nivel genético la arquitectura de los sistemas crea transformaciones o - innovaciones evolutivas – para referirse a la forma como el autor las denomina. Otras aplicaciones que trascienden de la metáfora biológica a la bio- inspiración, convergen en la dominada – Biomimética – (Bar-Cohen, 2005), campo que estudia los sistemas y mecanismos de adaptación de la vida, a fin de replicar su estructura para mejorar o introducir innovaciones en contextos de mercado, e.g. el sistema de nano adhesión de la Salamandra para desarrollo artificial de innovaciones en temas como materiales alternativos y tecnología en general.

Para efectos de este documento, la pregunta acerca de cómo los sistemas vivos innovan, emerge desde las bases teóricas de la biología evolutiva, particularmente desde la teoría Darwiniana y su interés por el estudio de los fenómenos de transformación en las especies. A pesar de la importancia de la selección natural para el estudio del proceso evolutivo, resulta difícil imaginar que la manera como las especies han logrado abrirse paso y no solo sobrevivir sino también diversificarse, se limite exclusivamente a un único mecanismo de desarrollo. En efecto, Darwin reconoce a la selección natural como el principal de los caminos para la evolución, no obstante indica la posible existencia de otros mecanismos alternativos tales como las leyes de correlación del crecimiento o la modificación directa del ambiente sobre los organismos (Darwin, 1872). En este aspecto Darwin menciona en su texto: *“Estoy convencido que la selección natural ha sido el principal, pero no el único medio de modificación”* (Darwin, 1872, p.6).

En este escenario, Williams (1966) en su estudio sobre las adaptaciones, pese a concordar con las ideas de Darwin, describió un conjunto de aspectos complementarios alrededor de este fenómeno que sugerirían que la teoría de la selección natural presenta algunas imperfecciones. Según este autor, las adaptaciones darwinianas están relacionadas exclusivamente con la función, es decir con largos procesos de selección para el origen y perfeccionamiento de atributos (Gould & Vrba, 1982). Sin embargo, la existencia de adaptaciones operantes lleva consigo el desarrollo de efectos, lo que indica la emergencia de factores útiles para las especies que no han sido resultado de un proceso de selección. Además, al carecer de un diseñador, estos efectos emergen accidentalmente, razón por la cual les dio el nombre de efectos fortuitos (Williams, 1966).

El legado de Darwin (1872) y Williams (1966) despejó el camino hacia el estudio de la evolución en dos frentes 1) el de la identificación y comprensión de otros mecanismos para la evolución; y más importante aún, 2) el del estudio del carácter fortuito y accidental que se desprende del proceso de selección natural. En esta vía, Gould & Vrba (1982) tomaron como base ambos frentes, además de las inquietudes en contra del programa adaptacionista (Gould & Lewontin, 1979) para explorar lo que hoy representa una nueva teoría de la evolución que complementa el camino trazado por Darwin y Williams.

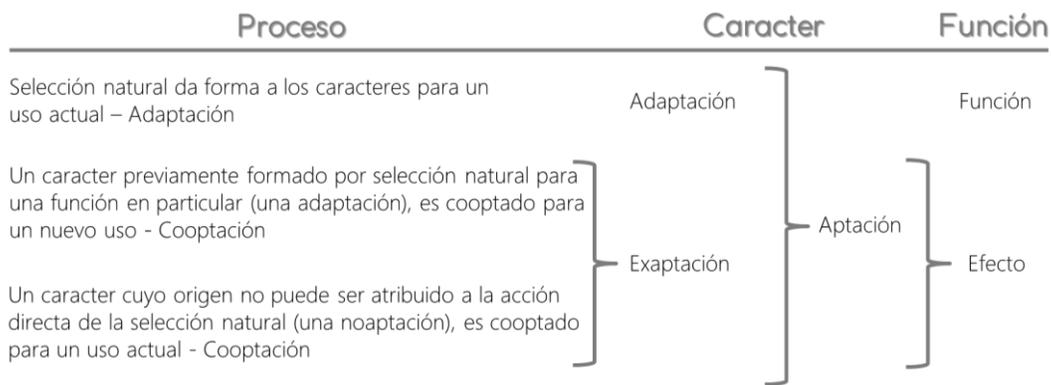
Esta nueva teoría, emerge de las reflexiones de Gould & Vrba (1982) respecto de las formas clásicas de evolución, así, según los autores se puede designar como adaptación a cualquier característica que promueve el ajuste y la aptitud, la cual se construyó por la selección para su función actual (Gould & Vrba, 1982). Pero ¿Qué sucede con los efectos fortuitos presentados por Williams?, los cuales describen características también útiles y aptas para la evolución que no se construyen a partir del proceso de selección sino como una consecuencia de ello, ¿Cuál es su papel en el proceso evolutivo? Y mejor aún ¿Cómo deberían llamarse?, Gould & Vrba, (1982) sugieren que “estas características evolucionadas para otros usos y luego – cooptadas<sup>2</sup> – para un papel particular deberían ser llamadas exaptaciones” (p.6). En un análisis etimológico del término, – aptus – significa que es adecuado para un rol correspondiente. Así, una característica que ha sido diseñada para un fin y es agregada – ad –, se definirá entonces como – ad+aptus – o una

---

<sup>2</sup> El concepto de – cooptación – es un eje central en la tesis de Gould & Vrba (1982). El diccionario de la Real Academia de la Lengua Española define el término como: *Acción y efecto de cooptar, Llenar las vacantes que se producen en el seno de una corporación mediante el voto de los integrantes de ella*. No obstante, al ser un término del Sajón la definición más pertinente en el ámbito de la biología se encuentra en la palabra – *co-optation* – referente al acto de absorber y asimilar algo.

adaptación; bajo la misma estructura, una característica externa – ex – que se ajusta por su utilidad para la sobrevivencia y no por un diseño será – ex+aptus – o una exaptación.

Paralelamente, Gould & Vrba (1982) se valen de los hallazgos realizados en materia de biología molecular, específicamente en el campo del ADN para introducir una categoría adicional a las exaptaciones cooptadas por utilidad para la sobrevivencia. A pesar de los rasgos particularizados de cada una de las especies, a nivel molecular se evidencia la existencia de un tipo de ADN que es repetitivo, es decir, que de este se generan cientos de millones de copias más. Estos replicadores, para referirse al nombre que posteriormente Dawkins (2004) le daría, son según Gould & Vrba, (1982) características – noaptadas – que a pesar de no ser útiles para ninguna función en particular en un momento, están disponibles para ser cooptadas posteriormente. En efecto, las características fenotípicas y genotípicas en las especies son otra expresión de este fenómeno.



**Figura 2.12. Taxonomía de la aptitud**  
 Fuente: Adaptado de Gould & Vrba, (1982)

Gould & Vrba (1982) denominan como – noaptaciones – a las posibles aptaciones que terminarán por convertirse en cualquiera de los tres tipos de proceso (Ver Figura 2.11), bien sea por cooptación o ajuste a una función o por un efecto. Es decir que las exaptaciones emergen como

copias repetitivas de caracteres posiblemente útiles para sobrevivir -aptaciones- las cuales aún no han sido seleccionadas para este fin. En conclusión, si la función no todas las veces precede la forma (Pievani & Serrelli, 2011) esta clasificación intermedia de aptaciones daría una posible solución al debate de las preadaptaciones darwinianas (Kauffman et al., 2007), además de explicar cómo emergen las innovaciones en el ámbito de la organización.

Como se ha indicado hasta aquí, algunas características en las especies no son resultado de la selección, por el contrario emergieron como una ayuda para sobrevivir. El ejemplo clásico y más referenciado para explicar este fenómeno en las especies es el de las plumas (Gould & Vrba, 1982). La evidencia fósil demuestra como las plumas en principio fueron seleccionadas para cumplir una función de aislamiento distante de la característica de volar. Aunque en principio eran pequeñas, es posible que su crecimiento, principalmente en las alas, esté relacionado con un aumento en la capacidad para atrapar alimento, y luego, con el desarrollo de características en el sistema neuromotor, fue posible la evolución al vuelo. Así, el diseño básico de las plumas es una adaptación para la termorregulación, y después, una exaptación para volar (Gould & Vrba, 1982, p.8), característica también visible al interior del proceso innovador en las organizaciones pues múltiples innovaciones hoy, en principio solo fueron inventos fallidos. A la pregunta ¿y qué pasó con la gallina? Una posible respuesta es que las exaptaciones no emergen de manera uniforme y continua, sino en interacción dinámica con el entorno, lo cual, para el caso de la gallina, significó un camino diferente para el éxito reproductivo en comparación con otras aves.

Respecto de los mecanismos para la emergencia de exaptaciones, Gould & Vrba (1982) señalan que estas pueden originarse a partir de dos fuentes: (i) A través de adaptaciones que luego asumirán

una función diferente y (2) A través de un acumulado de noaptaciones que al ser cooptadas asumirán una función. Una vez emerge la utilidad definida en la exaptación, es decir es cooptada, hace que todo un conjunto de transformaciones graduales sean generadas a través de esta, las cuales corresponderían a adaptaciones. Así, en la interacción de las especies con su medio cualquier característica se presenta primero como exaptaciones y luego como adaptaciones o en el ámbito de la organización primero como innovaciones y luego como mejoramientos o innovaciones graduales. Las características complejas de las especies son una mezcla de exaptaciones y adaptaciones (Gould & Vrba, 1982).

El descubrimiento de las exaptaciones, además de introducir la noción de incertidumbre, auto-organización y emergencia en el ámbito de la evolución de los sistemas vivos, se alinea con los cuestionamientos de (Wagner, 2011) respecto de los mecanismos de ajuste y transformación de los sistemas vivos equiparables a los mecanismos de innovación. Bajo este contexto, surge un cuestionamiento principal para el desarrollo de este documento: ¿Son las exaptaciones de las especies una forma de innovaciones?; de ser así, la posibilidad de construir un modelo de proceso innovador inspirado en la emergencia de exaptaciones en la organización resulta de interés.

El estudio de la innovación en el marco de las exaptaciones guarda un historial reciente originado en la comprensión de los cambios tecnológicos como fenómenos caracterizados por la incertidumbre y la emergencia (Mokyr, 2000; Rosenberg, 1996). En efecto autores como (Adriani & Cohen, 2009; Andriani & Carignani, 2014; Andriani & Cattani, 2016; Bonifati, 2010, 2012, Cattani, 2006, 2008; Dew, 2007; Dew, Sarasvathy, & Venkataraman, 2004; Feltrinelli & Garda, 2009; Ganzaroli, 2011); indican que las exaptaciones emergen como una función nueva de alguna

adaptación existente, lo que conecta la relación de gradualidad y criticidad de las innovaciones resaltando las propiedades complejas del fenómeno.

De cara a los planteamientos de Gould & Vrba (1982) estas afirmaciones desconocen la estructura de clasificación de exaptaciones discutida previamente. Los sistemas vivos evolucionan desplazándose hacia nuevas posiciones o estados más adaptativos, Así, las exaptaciones emergen de manera espontánea como características vinculadas a una función en específico, es decir que tanto exaptaciones como adaptaciones son la consecuencia de un proceso de interacción con el medio y no una fase del mismo. Las innovaciones se comportan de la misma manera, al ser resultado de un proceso deliberado al interior de la organización pero que solo es posible en concomitancia con el entorno y sus características, por tal razón las exaptaciones no son simplemente funciones sino se constituyen como las innovaciones del sistema.

Las exaptaciones precedidas por adaptaciones han recibido fuertes críticas desde el mencionado programa adaptacionista (Gould & Lewontin, 1979) al argumentar que este concepto se equipara con el de las preadaptaciones darwinianas, lo que lo hace poco novedoso. En efecto, Cattani (2006, 2008) y Cattani (2008) han suscitado el mismo debate en el ámbito de las innovaciones como exaptaciones, calificando a las exaptaciones como un tecnicismo adicional sobre un fenómeno ya estudiado como lo es la emergencia del cambio tecnológico. Sin embargo, Kauffman et al., (2007) argumenta que la importancia de las contribuciones de Gould & Vrba (1982) no se centra en las preadaptaciones darwinianas, dado que estas no explicarían el comportamiento explosivo de la biosfera visible en la diversidad de las especies (Kauffman, 2003), sino por el contrario en la otra categoría de exaptaciones expuesta por los autores, es decir aquellas

que emergen a través de un acumulado de noaptaciones que al ser cooptadas asumirán una función. Para lo cual, la exploración del papel que desempeña la diversidad en la emergencia de innovación resulta una dimensión de interés para completar los elementos constitutivos de un posible modelo.

En el ámbito de la innovación en las organizaciones, las exaptaciones han sido estudiadas como la emergencia de nuevas funcionalidades a partir de otras ya existentes al interior de un sistema de mercado integrado por procesos, productos y usuarios, como lo explica Bonifati, (2010, 2012) al indicar que las interacciones del sistema permite la cooptación de productos o procesos a una necesidad relativa al sistema. A fin de soportar estas consideraciones, Bonfati & Villani (2013) desarrollan dos modelos basados en agentes caracterizando el proceso innovador. En el primero de ellos, las exaptaciones ocurren a través del intercambio de artefactos e información entre dos agentes – los productores y los usuarios -, ambos agentes interpretan y evalúan el artefacto e intercambian información del mismo entre ellos. En este modelo, los usuarios comparten información sobre su satisfacción con el artefacto, la cual es tomada por los productores para mejorar el mismo. Durante el proceso de modificación eventualmente un nuevo artefacto recibe una mejor evaluación en comparación con la anterior versión, representando la introducción de una nueva funcionalidad exitosa y por ende una exaptación (Bonfati & Villani, 2013).

El segundo modelo, tiene como propósito simular la emergencia recurrente de patrones de interacción, para ello, es creado un espacio de simulación que integra muchos agentes productores junto con miles de artefactos a los cuales es posibles introducirles innovaciones. Cada productor prepara una – receta – o combinación de características del producto las cuales vende en un mercado simulado, las mejores recetas generan mayores ventas, y al mismo tiempo una tendencia

de los productores hacia desarrollar recetas similares. Eventualmente, la combinación de recetas permite la generación de ingresos superiores, lo cual al repetirse cierto número de veces termina por crear un nuevo patrón de éxito que presenta la introducción de nuevas funcionalidades a un producto y por ende una exaptación. El trabajo de Bonfati & Villani (2013) es de resaltar en el marco de la presente investigación, no solo por ser la primera aproximación formal de un modelo explicativo de exaptaciones como innovaciones, sino también por contribuir con el desarrollo de la fundamentación teórica para el estudio de estos fenómenos.

Recientemente Mastrogiorgio & Gilsing (2016) introducen el concepto de - innovación a través de exaptaciones -, al describir la emergencia de un nuevo uso o mercado disponible para una tecnología como una exaptación, lo que los lleva a introducir el concepto de “*innovaciones exaptativas*” (Mastrogiorgio & Gilsing, 2016, p.1420). Para ello estos autores se enfocan en el estudio del nivel micro del problema, dejando de lado el estudio de la organización, estudiando el problema desde el nivel de inventor y las condiciones para la invención donde las exaptaciones proveen una comprensión ampliada respecto de los orígenes de las nuevas innovaciones.

Como resultado de su investigación, Mastrogiorgio & Gilsing (2016) concluyen que la creación potencial de innovaciones exaptativas se encuentran relacionada con tres condiciones principales: (i) El grado de complejidad tecnológica, entendido como el nivel de interdependencia entre las subpartes de una tecnología, (ii) el grado de habilidad analógica, es decir la habilidad cognitiva que pueden tener los inventores para ver similitudes entre dominios parecidos pero no relacionados, y por último (iii) la arquitectura del problema inventivo, es decir el sistemas, recursos y herramientas que dispone cada inventor para la construcción de un invento.

En la misma línea, Andriani & Cattani (2016) estudian el conjunto de innovaciones que han emergido valiéndose del mecanismo de exaptación, para ello refieren como ejemplo la creación de los antisépticos a partir del ácido carbónico el cual no se encontraba relacionado con este tipo de tratamientos. Así, para estos autores las exaptaciones son consideradas como un tercer canal para la emergencia de novedad, donde un cambio funcional de un artefacto existente emerge del descubrimiento de un nuevo fenómeno no vinculado a ninguna necesidad. De la misma manera que Mastrogiorgio & Gilsing (2016), Andriani & Cattani (2016) proponen las categorías de innovaciones adaptativas e innovaciones exaptativas, refiriendo sus diferencias al sistema de preguntas que se formulan los individuos para resolver un problema.

A fin de especificar bajo qué contextos se presentan ambos tipos de innovaciones en la organización, Andriani & Cattani, 2016, p.116) presentan un sistema de preguntas que buscan establecer diferencias entre ambos tipos. Para el caso de las innovaciones adaptativas la pregunta sería “dado un problema, ¿cuál es la solución?” (Andriani & Cattani, 2016, p.116) evidenciando una correspondencia entre la forma y la función. En contravía, las innovaciones exaptativas se construyen a partir de un sistema de pregunta inversa, que dice “ahora que tengo este resultado, ¿qué problema debo resolver?” (Andriani & Cattani, 2016, p.117), en esta estructura el proceso inicia asumiendo la forma donde la creación de una nueva función asume el papel de posible innovación.

Por último. Los autores proponen un modelo del proceso de exaptación en las organizaciones el cual integra cuatro elementos centrales: (i) la continuidad tecnológica, entendida como la

esencia de una nueva tecnología que es transferida a través de mercados no relacionados, (ii) la creatividad, como como el origen de las nuevas ideas, la cual se encuentra oculta entre las funcionalidades y los artefactos disponibles, (iii) el criterio de selección, que hace referencia a la exploración de mercados no relacionados o no existentes y (iv) el cambio funcional, que se refiere a la transformación que recibe un mercado o artefacto disponible a causa de la emergencia de exaptación.

## **2.6. Diversidad e innovaciones**

De la misma manera que con la teoría de las exaptaciones, algunas aproximaciones sobre el estudio de la vida integran explícitamente la noción de innovación en sus postulados como una propiedad vinculada a la emergencia de diversidad. En esta vía, Maldonado (2008) se refiere a la vida desde sus orígenes, como la forma de organización más innovadora que los seres humanos han podido identificar, donde su capacidad constante de creación y mejora le ha permitido perdurar por millones de años a pesar de las profundas transformaciones del entorno. Por su parte, Kauffman, (2003) se vale de la mecánica estadística, para explicar las características innovadoras de la biosfera, junto con su complejidad incremental. Si se observa el universo en función de una sola partícula aislada a la manera de un sistema cerrado es posible que esta tienda hacia a la entropía, sin embargo, la biosfera y el universo no son una partícula aislada sino por el contrario son millones de partículas que interactúan a razón de micro y macro estados los cuales en promedio se alejan cada vez más del equilibrio y por supuesto de la entropía. En otras palabras, el promedio de los sistemas siempre está en movimiento y particularmente alejados del equilibrio. Prueba de ello es el movimiento Browniano donde se demostró en principio que pequeñas partículas de polen se desplazaban en movimientos aleatorios sin razón aparente (Brown, 1828).

Respecto de los sistemas vivos o agentes autónomos<sup>3</sup>. Kauffman (2003) reflexiona sobre los mecanismos que utilizan para diversificarse a través de la biosfera, al indicar que además de la generación de novedad, los agentes autónomos utilizan su energía también para el desarrollo de estructuras que les permitan propagarse, completar cierres catalíticos y cierres de propagación de trabajo que den paso a la creación de nuevos sistemas que repetirán este proceso en un patrón consistente de auto-organización (Solé & Goodwin, 2002) equiparable a la difusión de innovación en un sistema (Pyka, Ahrweiler, & Gilbert, 2004). Del conjunto de sistemas propagando su organización emerge la diversidad que ha hecho que la biosfera hoy no sea igual a como lo era en la tierra primitiva (Kauffman, 2003). Hablar de una biosfera que incrementalmente se hace más compleja significa decir que en el tiempo la entropía no se incrementa, sino por el contrario se transforma alrededor de una constante innovación.

En la misma vía, Solé & Goodwin (2002), Kauffman (2003), Maldonado (2008) Arthur (2009) entre otros, resaltan el papel que desempeña la diversidad en la emergencia de innovaciones respecto de la posibilidad de los sistemas de transformarse, o escalar hacia su adyacente posible (Kauffman, 1996) en la búsqueda de nuevos y mejores estados adaptativos. Según Wright (1932), los sistemas vivos se desplazan constantemente en la búsqueda por lograr posiciones conocidas como - óptimos locales -, lo que indica que el sistema se ha adaptado a las condiciones del entorno logrando sobrevivir. No obstante, si el sistema busca evolucionar, es decir pasar de un óptimo local a otro, debe desplazarse primero a un valle lleno de estados intermedios menos adaptativos donde la selección natural lo obligaría a escalar el segundo óptimo a fin de sobrevivir.

---

<sup>3</sup> Kauffman (2003) define los sistemas vivos como organismos autónomos, para lo cual un agente u organismo autónomo es un sistema autoreproductivo capaz de realizar uno o varios ciclos termodinámicos.

Así, sistemas vivos pueden transformarse o innovar gracias a la presencia de una de las principales propiedades de la biosfera, definida por Kauffman (2003), como - Diversidad – la cual guarda una posible explicación en el fenómeno de propagación de la organización, donde:

*“una célula se auto reproduce y desarrolla efectivamente ciclos de trabajo que enlazan procesos espontáneos y no espontáneos. Asimismo, mide, detecta y registra fuentes de energía y elabora restricciones a la liberación de esa energía, la cual, una vez se hace efectiva, se propaga ejecutando más trabajo, que a menudo sirve para construir más restricciones o para impulsar otros procesos no espontáneos”* (Kauffman, 2003, p.148).

Dadas estas reflexiones, resulta evidente una relación entre la capacidad innovadora de los sistemas vivos y la diversidad de la biosfera. Entonces ¿Cuál es el papel que desempeñan las exaptaciones en el desplazamiento de los sistemas vivos hacia los adyacentes posibles? Reflexionando sobre los autores mencionados en esta sección, se puede indicar que la forma como la biosfera y sus especies han desarrollado condiciones de supervivencia y éxito reproductivo no depende exclusivamente de las adaptaciones (Darwin, 1872), o de procesos graduales que vinculados a un diseño seleccionan características útiles, sino también a un proceso de propagación explosivo que, como tendencia, permite las condiciones de diversidad necesarias para crear nuevas características útiles para la supervivencia. Así, “las dos clases de caracteres, adaptaciones y noadaptaciones, proveen un enorme acumulado de variabilidad, a un nivel superior a las mutaciones, para cooptar como exaptaciones” (Gould & Vrba, 1982, p.12) que alimentan la diversidad portadora de alternativas de supervivencia.

La biosfera persistentemente innovadora (Kauffman, 2003) avanza hacia sus adyacentes posibles siguiendo una distribución en forma de ley de potencia, al hacerlo crea el depósito de

*noaptaciones* suficientes de las cuales emergen las *exaptaciones* que hacen posibles los procesos de pluralización que incrementan la representación activa de especies (Gould & Vrba, 1982), para lo cual, “*el tamaño acumulado de noaptaciones es un fenómeno central en la evolución*” (Gould & Vrba, 1982, p.12) y en la emergencia de innovaciones, posiblemente muy por encima de la selección natural. Esta pluralización o propagación de la diversidad, al ser un fenómeno emergente (Kauffman, 2003), explica en el ámbito de las organizaciones el comportamiento discontinuo de las innovaciones (Foster, 1986), donde a pesar de desarrollarse patrones consistentes de comportamiento resulta imposible determinar con precisión su estado final (Solé & Goodwin, 2002).

Kauffman menciona como la generación de novedad a partir de organización acumulada, representa la construcción coevolutiva de los sistemas complejos en su naturaleza no ergódica<sup>4</sup> (Kauffman, 2003), es decir, que tanto los ecosistemas como el proceso innovador tiene un futuro cualitativamente distinto a su pasado el cual a pesar de ser indecible e indeterminable se comporta como un sistema crítico con grandes y pequeñas avalanchas. En esta vía, Kauffman (2003) menciona:

*“En un mundo crítico organizado en torno de nosotros, con grandes y pequeñas avalanchas de especiación y extinción en la biosfera y en la econósfera. [...] la mayoría de las especies y tecnologías, de los trabajos y quienes lo desarrollaban, no se encuentran ya entre nosotros para comentar las ventajas del comercio”* (p.294).

---

<sup>4</sup> (Walters, 1981) describe la ergodicidad como una propiedad de algunos sistemas mecánicos los cuales en el tiempo presentan el mismo comportamiento promedio, como promedio durante el espacio de todos los estados del sistema. Haciendo al sistema predecible.

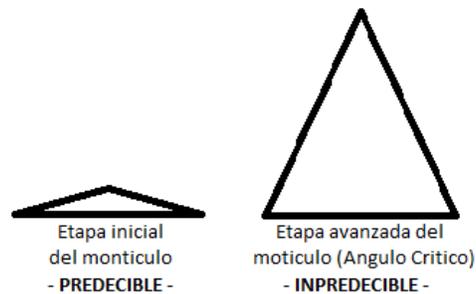
Las anteriores afirmaciones caracterizan la evolución de la biosfera no solo como un fenómeno exclusivamente gradual y dependiente del tiempo, sino también como uno vinculada al modo como esta se despliega, definiendo un ritmo para la evolución completamente atemporal y discontinuo. Así, la construcción coevolutiva sucede de manera ramificada, lo que sería congruente con la tesis central de (Eldredge & Gould, 1972) al desarrollar su teoría de equilibrios puntuados. Si la evolución no sucede de manera gradual o por arrastre entonces la biosfera y la econósfera, y su capacidad autoconstructiva o innovadora tampoco funcionan de una manera ergódica y continúa, lo que desde la biología devela al menos uno de los principios de la innovación en sistemas vivos: la innovación no se comporta como un proceso lineal.

Solé & Goodwin (2002) describen el mismo comportamiento no ergódico en los sistemas vivos al desarrollar el *experimento del montículo de arena*, si se agrega lentamente arena en un punto grano por grano, el patrón de apilamiento de la misma es susceptible de ser descrito inicialmente en términos de gravedad y fricción, es decir que es posible predecir con bastante precisión cuál será el comportamiento del apilamiento de la arena en su etapa inicial como se observa en la Figura 2.12 sección izquierda. Sin embargo, a medida que se agrega más arena, se hace visible la formación de un montículo en forma de cono el cual al crecer en tamaño (Ver Figura 2.12, sección izquierda) alcanza en algún punto un ángulo crítico<sup>5</sup> produciendo entonces una avalancha de arena que se desprende alrededor del montículo al agregar tan solo un grano más de arena. En ocasiones estas avalanchas pueden ser pequeñas, pero en otras se producen grandes desplazamientos de arena, en este punto, aunque el fenómeno atiende a un patrón consistente, su comportamiento emergente lo hace completamente indeterminable y por ende no causal, agregar un grano adicional

---

<sup>5</sup> La criticidad según (Solé & Goodwin, 2002) hace referencia al punto donde el fenómeno se hace completamente impredecible.

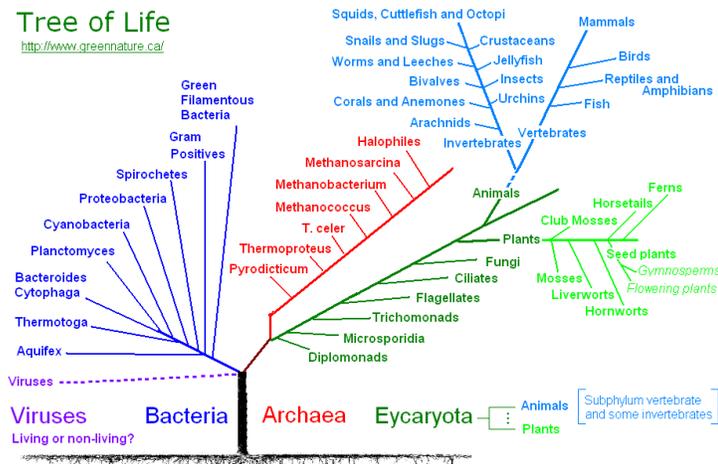
no implica ninguna consecuencia puntual, sino un conjunto de posibilidades no extrapolables a una relación de espacio / tiempo.



**Figura 2.13. Etapas del montículo de arena**  
Fuente: Adaptado de (Solé & Goodwin, 2002)

Si la biosfera y sus innovaciones, desde una perspectiva evolutiva hubiesen sido resultado de un proceso gradual de desarrollo y planificado sistémicamente, entonces el número posible de especies sería no solo finito sino también limitado, y de seguro el poder de la entropía habría terminado con todo indicio de vida en la tierra (Kauffman, 2003). Una propiedad fundamental de la biosfera es su explosiva capacidad innovadora y diversificadora, es esta capacidad la que permite que la biosfera continúe presente a pesar de las grandes avalanchas de especiación y extinción que se han dado a través de su historia. Entonces, la supervivencia de una especie no tiene que ver principalmente con su capacidad adaptativa sino con la flexibilidad evolutiva (Gould & Vrba, 1982), es decir con la capacidad para soportar la variabilidad del entorno mediante la producción constante de representatividad en las especies y su posterior pluralización. Extrapolando al ámbito de la organización la capacidad de supervivencia puede desarrollarse no solo por la gestión eficiente de recursos sino también a partir de procesos de pluralización que resulten en emergencia de innovación, por ende un modelo que estimule este proceso será contributivo en el logro de la flexibilidad necesaria para la perdurabilidad de la organización.

Una forma simplificada de evidenciar este fenómeno es valiéndose de la observación del árbol de la vida (Ver Figura 2.13) que representa todos los organismos existentes. Ayala (2011) menciona que aun cuando la vida puede ser que hubiese iniciado en la tierra más de una vez, todos los organismos existentes en el mundo derivan de un solo origen que ocurrió aproximadamente hace 3.700 millones de años. Desde este punto, la evolución de las especies ha sido marcada por un crecimiento explosivo de la diversidad de las especies que se evidencia en la Figura 2.13 con la convención de que la longitud de cada rama es aproximadamente proporcional a la diversidad de especies dentro del grupo. La evolución por lo tanto, es un fenómeno principalmente de producción de diversidad más que de adaptación gradual a las condiciones del ambiente.



**Figura 2.14. El árbol de la vida, rangos de clasificación biológica**  
 Fuente: (GreenNature.ca, 2008)

La diversidad entonces, podría ser una medida de propagación de la organización y de la vida misma, la riqueza en la biosfera y en la econósfera está dada por la creciente posibilidad de desplazarse hacia los adyacentes posibles mas no por la gestión eficiente de los recursos limitados. De hecho, buena parte de las economías del mundo han logrado desarrollarse y generar riqueza gracias a los altos niveles de diversidad que presentan, tal es el caso de China y en América del

Sur Brasil. Entonces la emergencia de innovaciones en el ámbito de la organización no estaría dada por flujos algorítmicos y relacionamientos causales expresados a la manera de modelos lineales, sino más bien por la diversidad generada en la interacción de sus agentes. De existir un mecanismo o modelo que permita estimular la diversidad en la organización, posiblemente el volumen de innovaciones que emergen en la misma tendría un comportamiento incremental.

Kleiber, (1932) un investigador en el campo de la agricultura quería estudiar el impacto del tamaño del cuerpo de los animales en relación con su comportamiento metabólico, a fin de permitir a los agricultores predecir con cierto grado de certeza la cantidad de comida que el animal requería y al mismo tiempo la cantidad de carne que éste podría producir. Durante la investigación Kleiber (1932) identificó un patrón interesante en el comportamiento en las variables, aquellos animales que son de mayor tamaño, viven períodos más prolongados de tiempo que aquellos que son pequeños (Johnson, 2011). En adición, el metabolismo medido por la velocidad a la que es bombeada sangre desde el corazón de los animales guarda una relación inversamente proporcional. Así, los animales más grandes lo hacen de una manera más lenta que los animales pequeños; esto significó, al menos en principio, la identificación de un patrón de comportamiento entre el tamaño y el metabolismo de los animales. La investigación culminó en el desarrollo del – *negative quarter-power scaling* – (Kleiber, 1932), un algoritmo matemático que compara el nivel de acumulado con el metabolismo del animal describiendo un sistema de medida lineal, útil para el sector pecuario.

Tomando como referencia los trabajos de Kleiber (1932), el físico del Instituto Santa Fe Geoffrey West decidió investigar si esta escala aplicaba para lo que él llamó los – superorganismos de las ciudades humanas –. West, Bettencourt, Lobo, Helbing, & Kühnert (2007) quisieron saber

si el metabolismo de la vida urbana disminuía cuando las ciudades se hacían más grandes, junto con preguntarse si existía un patrón subyacente en el crecimiento y el ritmo de vida de los sistemas metropolitanos. Para ello realizaron la recolección de un acervo de datos en más de una docena de ciudades alrededor del mundo, las indagaciones iban desde niveles de criminalidad hasta promedio de consumo energía eléctrica por hogar (Johnson, 2011). Los resultados de la investigación para algunas variables respondían a los planteamientos de Kleiber (1932), sin embargo, encontraron una evidencia que daría un giro representativo a la investigación constituyéndose como uno de los hallazgos más importantes.

Todos los datos relacionados con creatividad, patentes, investigación y desarrollo, invenciones y demás indicadores afines con innovaciones, presentaban un comportamiento inverso al del modelo original de la escala de Kleiber (1932), de hecho mucho más que positivo. Es decir, que una ciudad que es 10 veces más grande que un barrio es entonces 17 veces más innovadora, al mismo tiempo, una metrópoli que es 15 veces más grande que la ciudad es 130 veces más innovadora (Johnson, 2011). Esta evidencia representa el acierto de Kauffman (2003) en sus planteamientos, en un espacio de configuración donde el número de agentes autónomos es mayor, la diversidad aumenta así como también las formas de ganarse la vida que para el caso representaría la conducta innovadora.

Junto con la revisión teórica y este ejemplo particular se evidencia de manera más clara el papel de las exaptaciones en la emergencia de innovaciones, así como también en el incremento de su tasa de desarrollo. Suponiendo para el caso un mayor nivel de agentes autónomos entre los cuales se encuentra también la población, emerge tal nivel de posibles noaptaciones permitiendo

la diversidad necesaria para una mayor emergencia de exaptaciones expresables en innovaciones tanto radicales como incrementales. En el mismo tiempo estas exaptaciones evolucionan mediante adaptaciones que en conjunto posibilitan la creación de acumulados de noaptaciones las cuales se convertirán de nuevo en exaptaciones siguiendo una distribución en forma de ley de potencia.

Si bien la diversidad en el ejemplo ha sido formulada en términos de volúmenes poblacionales y tamaños de ciudades, esto no se constituye como una alternativa que resuma del todo la significancia de la diversidad, pues un sistema es complejo no por el número de elementos que lo contienen sino por sus interacciones (Maldonado, 2003), los trabajos de West et al., (2007) además de ser un aporte interesante en la caracterización del fenómeno de la diversidad en estructuras organizacionales como las ciudades, complementan la posibilidad metodológica de construir un modelo donde la emergencia de innovaciones sea resultado de un proceso de acumulación de características y diversificación, más congruente con organizaciones como las de hoy capaces de exhibir vida (Pulgarin, 2013), por encima de los tradicionales modelos por planeación y causalidad.

Aun cuando el aparato teórico y explicativo de (i) la Innovación, (ii) las exaptaciones y (iii) la diversidad resulta distante entre otras razones, por la naturaleza disciplinar de cada concepto, esta propuesta de marco teórico buscó identificar espacios de convergen donde tanto las teorías como los autores evidencian aproximaciones comunes en las tres dimensiones. Esto, con el propósito de caracterizar un posicionamiento conceptual de esta investigación, que contribuya tanto a ampliar la base de conocimiento respecto del estudio de fenómenos de la organización en el marco de la

vida y los sistemas vivos, como proponer alternativas de reflexión de los problemas partiendo de aparatos teóricos diferentes.

### 3. Problema de investigación

Dadas las reflexiones en la sección 2, la descripción general de la problemática de investigación a desarrollar, convergen en la noción de innovación como un proceso emergente. Esta aproximación, además de tener efectos en la definición metodológica de la investigación, influye en aspectos como la formulación del problema de investigación y los objetivos de la misma. Todo con el propósito de guardar una correspondencia entre los diferentes elementos de este documento.

#### 3.1. Relevancia de la investigación

La última década ha demarcado un escenario de transformación significativas en el mundo de los negocios, que contrasta con el lanzamiento del primer smartphone desarrollado por Apple en el 2007 (C. Arthur, 2012). Economías como la israelí, con una población de 8 millones de habitantes, una dotación de factores desfavorable a la producción de alimentos y uno de los más antiguos conflictos armados, evidencia en los últimos 20 años un desarrollo económico y crecimiento del PIB superior al de cualquier país América Latina, donde las ventajas comparativas resultan significativamente superiores. Al cuestionarse sobre las posibles causas para este fenómeno, se observa como Israel posee no solo el mayor número de firmas por fuera de Estados Unidos que cotizan en NASDAQ (79 Firmas)<sup>6</sup>, sino también una de las tasas de emprendimientos de alto impacto o EAI más altas del mundo, es decir, emprendimientos con a) un crecimiento en

---

<sup>6</sup> NASDAQ es la bolsa de valores electrónica y automatizada más grande de Estados Unidos, el listado sobre firmas que cotizan en esta bolsa, clasificado por regiones, se encuentra disponible en: <http://www.nasdaq.com/screening/companies-by-industry.aspx?region=Middle+East&country=Israel&exchange=NASDAQ>

la utilidad superior o igual al 20% y b) un crecimiento en la empleabilidad superior o igual al 20%. (Drexler et al., 2014).

Para el 2011, Israel contaba con 3850 StartUps de alto impacto, una elevada tasa de inversión de capital de riesgo, en promedio 2,5 veces superior a la estadounidense y una inversión en investigación y desarrollo del 4.5% del PIB (Senor & Singer, 2012). Desde una perspectiva demográfica, Israel posee un EAI por cada 2000 habitantes, en comparación con Colombia donde según el informe – The Breakthrough – (2012) realizado para las cámaras de comercio de Bogotá, Medellín y Cali, el país cuenta con aproximadamente 248 emprendimientos de este tipo, es decir un emprendimiento de alto impacto por cada 181.000 habitantes; 90 veces menos emprendimientos de impacto que Israel con una población igual a la de la capital. En la actualidad Israel cuenta con el quinto ecosistema de emprendimiento más importante del mundo, el ecosistema de Tel Aviv el cual ha sido valorado entre 23.7 y 28.9 billones de dólares, cuenta con un promedio de inversión en capital semilla de 700 a 750 mil dólares y una media de inversión en emprendimientos Serie A de 5 millones de dólares.

Siguiendo el camino trazado por Israel - Emprendimiento como base para el desarrollo económico de país y sus regiones - (Olaison & Sørensen, 2014), el gobierno colombiano ha introducido marcos regulatorios como la ley 1014 del 2006 o ley de emprendimiento (y posteriormente la ley 1258 de 2008, 1286 de 2009 y 1429 de 2010), a fin de prohijar la creación de estructuras enfocadas a fortalecer el emprendimiento en sus diferentes manifestaciones, que faciliten la generación de empleo, refuercen la competencia y promuevan la eficiencia económica (Liao, Welsch, & Moutray, 2008).

Como resultado de lo anterior, se han desarrollado iniciativas de orden ministerial como Innpulsa Colombia, enfocada a incentivar la comprensión, desarrollo y ejecución de proyectos que procuren por StartUps competitivos capaces de contribuir con el crecimiento del país y sus instituciones, y otras de orden local como Ruta N en Medellín y Bogotá emprende en la capital, ambas alineadas a propósitos similares; otro ejemplo, para el caso de las TIC, es el denominado plan VIVE DIGITAL que entre sus ejes soporta la creación y desarrollo de StartUps de base tecnológica como las más de 2000 aplicaciones para dispositivos móviles desarrolladas en el marco de Apps.co<sup>7</sup>.

Los informes del Global Entrepreneurship Monitor (en adelante GEM) para Colombia, dan cuenta desde el 2012 (Pereira et al., 2012) hasta el más reciente, publicado en 2016 (Buelvas et al., 2017) de la importancia de estas iniciativas, junto con reafirmar su efecto positivo en el desarrollo regional y local. De manera particular, el informe 2012 refiere a Bogotá como una de las 10 principales ciudades para hacer negocios en América Latina, con un crecimiento del 4,6% entre el 2004 y el 2010, un PIB (Producto interno bruto) de 40.922 millones y 1.622 millones de inversión extranjera directa (Pereira et al., 2012). De la misma manera, la versión para el caribe de este informe (Varela, Moreno, & Soler, 2013) subscribe a la capital de país con un TEA<sup>8</sup> que asciende a un 19.8%, una intencionalidad de emprendimiento del 56,9% y un porcentaje de nuevos

---

<sup>7</sup> Apps.co es iniciativa diseñada desde el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones, para promover y potenciar la creación de negocios a partir del uso de las TIC.

<sup>8</sup> El TEA es uno de los indicadores que se exponen en los informes del Global Entrepreneurship Monitor, este se refiere al porcentaje de población adulta en un periodo de tiempo que se encuentra involucrada en una nueva o temprana actividad de emprendimiento.

emprendedores del 13%, reconociendo a la ciudad con una de las más representativas en lo que a emprendimiento de nuevos negocios respecta.

Las condiciones anteriormente mencionadas, han incentivado la explotación del potencial emprendedor de la ciudad, entre otras maneras, mediante la formalización de centros o instituciones para la promoción y el apoyo del emprendimiento, quienes a través de un portafolio de servicios que puede integrar asesoría, asistencia y acompañamiento desde etapas previas a la idea de negocio hasta la puesta en operación, buscan propiciar las condiciones de hospedaje necesarias para procurar el crecimiento exitoso de un grupo de firmas emergentes. Estas instituciones o centros de emprendimiento, de corte público y/o privado, cobran importancia dentro del plano competitivo de las ciudades no solo por su papel en el soporte al crecimiento económico y social de las regiones, sino también por la oportunidad para consolidar un portafolio de inversión diversificado a inversionistas o corporativos que ven en los nuevos StartUps una oportunidad de rendimiento en el mediano plazo.

El panorama estructural del emprendimiento en Colombia, devela en lo público alrededor de 429 unidades de emprendimiento SENA, de las cuales 229 son de carácter universitario; en conjunto, han apoyado la creación de más de 2640 firmas con una inversión de \$157.412 millones de pesos (Fondo Emprender, 2013). Bogotá, como uno de los epicentros del emprendimiento de país, cuenta adicionalmente con 250 instituciones identificadas (Quiroga et al., 2014), entre entidades públicas, privadas, mixtas y organismos de cooperación internacional (Guerrero & García, 2013), “cuya interacción está enfocada al desarrollo, asistencia y promoción del proceso emprendedor, estableciendo cadenas de acompañamiento al emprendedor en un espacio geográfico

limitado, ligadas al desarrollo económico” (Henríquez et al., 2010, p.3), estos actores, en conjunto conforman el denominado – ecosistema de emprendimiento<sup>9</sup> – de la capital y 6 regiones más del país, según la clasificación de ecosistemas regionales de emprendimiento desarrollada por (Innpulsa, 2017a) .

Comparativamente con Santiago de Chile, el ecosistema de emprendimiento de Bogotá es considerado como uno de los de mayor potencial de impacto en Latinoamérica (Quiroga et al., 2014), entre otras razones, por su capacidad para soportar una población de 900.000 personas que anualmente se vinculan a la puesta en marcha de un nuevo negocio en la ciudad (Pereira et al., 2012). Su estructura se encuentra integrada por seis diferentes tipos de componentes o actores, los cuales a su vez se distribuyen de acuerdo a su rol en el proceso de consolidación de los nuevos negocios.

Respecto de los componentes, Quiroga et al., (2014) indica que el ecosistema de emprendimiento de la ciudad está integrado por los siguientes: i) Mercados de bienes y servicios, en referencia al conjunto de espacios de mercado donde se prueban prototipos y se comercializan productos por primera vez; ii) Políticas nacionales y locales, como el marco jurídico desarrollado para la creación de un entorno habilitante al emprendimiento; iii) Mercado financiero, entendido como la oferta de productos y servicios de financiamiento, asistencia e inversión desarrollados para la consolidación de los negocios; iv) Cultura emprendedora, entendida como la disposición social y estructural para apropiarse del emprendimiento como una opción de carrera loable; v)

---

<sup>9</sup> Según Guerrero & García, (2013), Un Ecosistema de Emprendimiento responde a una agrupación espacial de instituciones que actúan entre sí en pro de la promoción, la asistencia y el desarrollo de proyectos empresariales nuevos o ya existentes.

Entidades de soporte, para referirse al conjunto de organizaciones, asociaciones y estructuras diseñadas para apoyar el buen desarrollo de los nuevos negocios, y por último, vi) Capital humano, entendido como el conjunto de iniciativas enfocadas al desarrollo de competencias para los nuevos proyectos empresariales.

Como se mencionó previamente, al interior de estos componentes o actores del ecosistema de emprendimiento se despliegan un conjunto de roles ejecutados por instituciones de naturaleza pública y privada, las cuales de manera sistemática conforman la denominada cadena de emprendimiento (Quiroga et al., 2014). La Figura 3.1 presentan tres de las principales clasificaciones de estos roles para Bogotá, cada una correspondiente al análisis descriptivo realizado por (i) el ministerio de comercio industria y turismo, (ii) la universidad de los Andes y la secretaría de desarrollo económico de Bogotá, y (iii) La clasificación de tres GEM, Endeavor e Impacta, las tres instituciones enfocadas en el estudio del emprendimiento en el país. Para efectos de esta investigación se toma como referente la clasificación establecida por la Universidad de los Andes y la Secretaria de Desarrollo económico de Bogotá (Guerrero & García, 2013), por su naturaleza integradora, la cual además de abarcar la noción de consolidación del emprendimiento (ausente en la clasificación del Ministerio de Industria y Comercio), también contiene el modelo de 4 roles presentado por GEM, Endeavor e Impact-A.



**Figura 3.1. Clasificación de roles en el ecosistema de emprendimiento**  
 Fuente: Adaptado de Quiroga et al. (2014)

Las tres clasificaciones presentadas guardan elementos comunes representados por el código de los colores común en la figura 3.1. Dada esta clasificación, en el primer rol (casillas de color naranja) las instituciones acompañan al emprendedor en el proceso de descubrir y generar nuevas ideas loables a un mercado particular; esto bajo el supuesto de que es posible tener las competencias para emprender un negocio, sin tener claridad sobre una alternativa en particular. En el segundo rol (casillas de color gris), apoyan al emprendedor en la materialización cuantitativa y cualitativa de la idea, mediante diferentes instrumentos formales que permiten precisar aspectos asociados a la planificación y puesta en marcha del nuevo negocio.

Seguido, en el tercer rol (casillas de color amarillo) las instituciones propician la generación de prototipos tanto de productos como de servicios, además de apoyar la construcción del modelo depurado de negocio para la empresa naciente. El cuarto rol (casillas de color azul), las instituciones buscan garantizar la sostenibilidad del largo plazo de la empresa ya constituida, apoyando procesos de relacionamiento con el entorno y aprehensión de inversionistas, entre otros; por último, el quinto rol (casillas de color verde) se orienta hacia el apoyo en la generación de

utilidades en las firmas, soportadas por un crecimiento constante que ha sido impulsado desde el rol anterior.

Si bien el entorno habilitante de Bogotá, propiciado por las políticas de gobierno y el acompañamiento de las instituciones o centros de emprendimiento se convierte en una fortaleza para cualquier ecosistema, las capacidades competitivas propias de cada nuevo negocio juegan también un rol determinante para su crecimiento y sostenibilidad de largo plazo. Timmons & Spinelli (2012) resaltan entre otras, la cultura, el flujo de información y el clima emocional; no obstante, autores como Kirzner, (1973) Bhidé, (2004) y Varela, (2008) convergen en identificar a la innovación como una de las capacidades clave para el éxito de cualquier emprendimiento emergente, lo que supone para cada una de las instituciones del ecosistema de emprendimiento, la necesidad de desarrollar estructuras de proceso que favorezcan la generación de innovaciones en los nuevos negocios, independiente de su etapa de desarrollo.

En efecto, el informe GEM Colombia 2016 (Buelvas et al., 2017) llega a la misma conclusión, al explicar la relación entre sostenibilidad, innovación y emprendimiento, partiendo de la clasificación de economías del mundo desarrollada por el World Economic Forum según la naturaleza competitiva de sus negocios; para ello establece tres categorías: i) las economías impulsadas por factores, ii) las economías impulsadas por la eficiencia y iii) las economías impulsadas por la innovación. Esta última categoría, donde se ubican países como Estados Unidos y China, se refiere al conjunto de economías que de manera característica poseen una tasa mayor de supervivencia de StartUps atribuible a sus innovaciones; las otras dos, corresponden a economías donde a pesar de poseer una elevada tasa de creación de nuevas firmas, su sostenibilidad

de largo plazo, su crecimiento y su empleabilidad se ven comprometidos por cuenta del escueto impacto de mercado. En la misma vía, el más reciente informe de caracterización de ecosistemas de emprendimiento para Colombia (Innpulsa, 2017a) destaca tanto la importancia de la incorporación de innovación a las actividades productivas como elemento determinante para el crecimiento económico de una nación, como la necesidad de integrar innovación a los StartUps para garantizar el éxito en el mercado.

Si bien en la actualidad no se encuentra disponible un sistema formal que determine con precisión la tasa de mortalidad empresarial de la capital<sup>10</sup> y del país, y su relación con las innovaciones desarrolladas en las mismas, estadísticas de la Confederación Colombiana de Cámaras (Confecamaras, 2014), estiman que para el año 2014, se crearon alrededor de 240,250 firmas, de las cuales el 38.7% hacen parte del sector comercio, 11.7% del sector de alojamiento y servicios alimenticios, y 10.3% pertenecen a la industria manufacturera y otras firmas relacionadas con los sectores de actividades profesionales, científicas, técnicas y de construcción. Paralelamente, el informe expone que para los tres primeros trimestres del año 2014 se cerraron 75,596 compañías, es decir que 3 de cada 10 firmas creadas en el último año fueron cerradas en un periodo menor a 12 meses, donde los sectores más afectados fueron el comercio al por mayor y por menor (45%), el alojamiento y los servicios alimenticios (30%), la manufactura (9%) y otros sectores (16%).

---

<sup>10</sup> La cámara de comercio de Bogotá cuenta con el Observatorio de la región Bogotá y Cundinamarca el cual se aproxima a algunos análisis de mortalidad empresarial mediante el estudio de las renovaciones de registro mercantil, no obstante, la información presentada resulta insuficiente pues se limita a la acción voluntaria de los empresarios por renovar el registro.

Según Pardo & Alfonso, (2015) los emprendedores colombianos aducen como principales causa para el fracaso de sus StartUps las dificultades financieras, por encima de otros problemas como los errores en la ejecución del plan estratégico o las dificultades para la publicidad y promoción de sus productos. En esta categoría se identifican como fuentes del problema, los ingresos insuficientes para la subsistencia, la dificultad para acceder a crédito y financiamiento, el exceso de gastos y el retraso de pagos de los clientes, entre otros. Por último, Pardo & Alfonso, (2015) mencionan que el 56,2% de los negocios fracasaron con ventas inferiores a 50 millones de pesos y el 5.9% con ventas inferiores a 100 millones, lo cual dividido por los 12 meses del año resulta en un nivel de ingreso insuficiente si se tiene en cuenta los costos fijos de operación de cualquier negocio.

En tal sentido, el panorama descrito permite categorizar a Bogotá como una economía impulsada por la eficiencia (Pereira et al., 2012), donde la creación de nuevos negocios es elevada no obstante su sostenibilidad se ve comprometida por la dificultad para generar impacto de largo plazo en el mercado. Con una tasa de permanecía superior a 3.5 años del 8.6% de las firmas de la capital, un 8.8% en Medellín y un 12.5% en Cali, el reto planteado por Pereira et al., (2012) es la transición progresiva hacia una economía impulsada por la innovación, lo que para el caso de los nuevos negocios, significa la incorporación de innovaciones a través de la cadena de valor, sus productos y servicios.

Es en este punto donde el papel de las innovaciones cobra sentido en la sostenibilidad a largo plazo de los nuevos negocios. Si el principal factor que compromete el desempeño de los StartUps en el país es la insuficiencia en los ingresos para la subsistencia (Pardo & Alfonso, 2015), el

problema se ubica en la incapacidad de las firmas para generar el valor suficiente para hacer la compañía rentable, esto significa que las firmas no solo resultan poco atractivas a la inversión, sino que tampoco desarrollaron la capacidad para ofrecen valor mediante precios competitivos por beneficios equivalentes en relación a los competidores o proporcionar beneficios únicos en el mercado que puedan compensar los precios más elevados (Porter, 1985).

### **3.2. Delimitación del problema**

Dada la dificultad para identificar una teoría general propia de las innovaciones (Godin, 2008), los esfuerzos por delimitar espacios de estudio en este ámbito son observables desde los planteamientos de Schumpeter (1911), quien en su aproximación hacia el desarrollo económico de los países reconoce al menos dos categorías tempranas para abordar esta temática; la primera de ellas al tomar las innovaciones como la causa del desarrollo y la segunda al referirse al innovador como propiciador del proceso innovador. Esta categorización, posteriormente representada en la segunda edición del Manual de Oslo (OECD & EUROSTAT, 2005) provee una demarcación general del campo al separar el problema de las innovaciones desde (i) una perspectiva macro, inherente al diseño de política pública, y (ii) una perspectiva micro, que aborda el proceso innovador en el ámbito de la organización, lo que en la actualidad se constituye como dos de las principales categorías para el estudio de la innovación.

La introducción de la teoría general de sistemas en el ámbito de las innovaciones, complementaria el desarrollo de estas categorías, al explicar la relación existente entre la escala macro y la escala micro de los fenómenos, es decir que, en términos de innovación el conjunto de decisiones desarrolladas en materia de política pública representa efectos significativos tanto en el innovador como en su proceso. Estas consideraciones, llevarían a la formulación de los

denominados sistemas de innovación (Freeman, 1995; Lundvall, 1992), perspectiva que trasciende el estudio de las innovaciones de un espacio de variables que operan de manera individual, a un espacio de relaciones, donde las innovaciones emergen resultado de la interacción entre ambos niveles de sistema contenidos en la estructura económica de los países.

Al caracterizar el fenómeno de las innovaciones desde el paradigma sistémico, el estudio de los relacionamientos entre un sistema, sus componentes y su entorno, permitió ampliar la base de categorías para la delimitación de este fenómeno, superando el análisis de temáticas aisladas para llegar a una descripción por niveles o sistemas desde los cuales se puede abordar la misma. Ejemplo de ello, es el trabajo de McGuigan & Henderson, (2005) quienes identifican un nivel macro o regional y un nivel micro u organizacional de las innovaciones el cual gracias a una estrecha relación hacen posible la emergencia de innovaciones. Moldaschl, (2010) a su vez, indica una clasificación multidisciplinar de las innovaciones desde diferentes ámbitos, entre los cuales estaría el estado, las organizaciones y el individuo, las cuales interactúan constantemente. Por su parte Robledo, (2010) reconoce que las innovaciones se desarrollan en un contexto social amplio que involucra una gran diversidad de instituciones.

Burns & Stalker, (1961) por su parte, abordan el problema de la innovación en el ámbito de la organización, particularmente desde el management, lo que representa la interrelación entre el estudio de la dirección de la organización y el de la innovación. En adición, describen las innovaciones y el proceso innovador bajo una perspectiva orgánica donde las interacciones entre los sistemas de producción y los de consumo construyen entornos de cambios cada vez más

dinámicos que deben ser gestionados y dirigidos a fin de garantizar la perdurabilidad de la organización.

Esta aproximación organizacional de la innovación dio paso al desarrollo de un nuevo espacio de estudio denominado gestión de las innovaciones y las tecnologías (Parker, 1982) que se afianzaría con el trabajo de Porter, (1983) al caracterizar la relación entre la tecnología, la innovación y la obtención de ventajas competitivas, dándole a la innovación y por ende al proceso innovador un carácter estratégico en la organización que permanece en la actualidad. La gestión de las innovaciones y las tecnologías incorpora a la innovación y al proceso innovador como una actividad deliberada (Burns & Stalker, 1961; Escorsa & Valls, 2003; Oakey, Rothwell, & Cooper, 1988; Parker, 1982; Pulgarín & Pineda, 2011; Van de Ven, Angle, & Poole, 2000) en la organización, bajo la promesa de obtención de ventajas competitivas (Afuah, 1999, 2009; Hidalgo et al., 2008; Tushman & Anderson, 2004). El carácter de deliberado al proceso innovador, deviene su relación directa con la actividad de dirección en la organización (Newstrom, 2007). Es decir que, dado un costo de oportunidad, la organización y sus directivos deciden deliberadamente como opción de inversión, el desarrollo de innovaciones como vehículo para el logro de ventajas y desempeños superiores. En este escenario, el proceso innovador se transforma en una estructura crítica para la organización, además de explicar el interés por la temática desde esta investigación.

Si bien la posibilidad de estudiar el proceso innovador a través de diferentes perspectivas resultaría un ejercicio académico además de interesante congruente con el criterio de indivisibilidad planteado, esta investigación se enfoca en estudio de las organizaciones, a fin de alinearse con el problema marco de la dirección en organizaciones (Facultad de Administración, 2009). Así, se opta por observar el problema en el nivel de las innovaciones organizacionales (Van

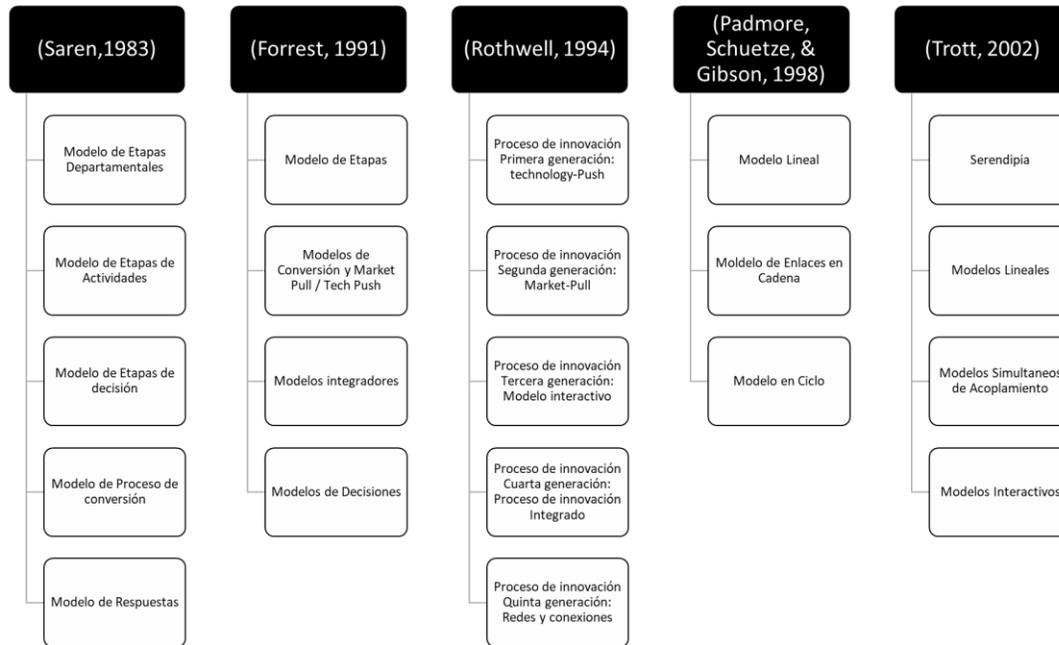
de Ven & Poole, 2004), puntualmente en su proceso innovador, reconociendo las propiedades sistémicas del fenómeno, es decir el efecto de la interacción con el entorno de la organización y los demás niveles que integran e inciden en las innovaciones.

Dadas las anteriores justificaciones, además la aproximación bio-inspirada de la innovación desarrollada en la fundamentación teórica de este documento, esta propuesta de investigación se delimita alrededor de cuatro aspectos:

- La innovación en el nivel de las organizaciones.
- El papel que desempeña el emprendimiento y la innovación en el desarrollo competitivo de los países.
- La aproximación desde la sistémica y la biología al problema de la innovación.
- Las exaptaciones como mecanismo y la diversidad como propiedad para la emergencia de innovaciones.

### **3.2.1. El proceso innovador en la organización: ¿Un proceso completo?**

Además del conjunto de principales modelos de proceso innovador presentados en la sección 2.3, la Figura 3.2 presenta algunos modelos complementarios que dan cuenta de la abundancia de aproximaciones teóricas respecto de este fenómeno. Para todos los casos, estos modelos buscan caracterizar la estructura y procesos suficientes para el logro efectivo de innovaciones en la organización, proponiendo desde esquemas de proceso, hasta metodologías que sistemáticamente lleven a la organización a innovar. Sin embargo, un importante acervo de autores han introducido reflexiones al campo que, desde la teoría y la evidencia empírica llevan a cuestionar la capacidad explicativa de estos modelos.



**Figura 3.2. Modelos complementarios de proceso innovador**  
 Fuente: Adaptado de Velasco et al. (2007)

Al respecto, Forrest (1991) y posteriormente Hobday (2005) exploran los modelos proceso innovador en la firma y enfatizan en la inexistencia de uno generalizable, además de indicar la dificultad para crearlo si fuese este el objetivo. De la misma manera Padmore, Schuetze, & Gibson, (1998) mencionan cómo, a pesar de la presencia de numerosos modelos que han tratado de explicar lo que constituye el proceso de innovación, la mayoría de ellos resultan incapaces de capturar toda la complejidad de la realidad que tratan de describir. Por su parte, Escorsa & Valls, (2003) e Hidalgo et al., (2008), evidencian las limitaciones de los modelos de proceso innovador al referir su incapacidad para explicar de manera absoluta y contundente la emergencia de innovaciones, argumentando que *la* “innovación resulta ser una actividad compleja, diversificada y con muchos componentes en interacción” (Escorsa & Valls, 2003, p.26), de la misma manera que Velasco &

Zamanillo (2008) quienes resaltan la inexistencia de un modelo explicativo, claro y definitivo sobre el camino que surge desde la invención hasta su introducción al mercado.

Respecto de la efectividad de los modelos, Asplund & Sandin, (1999) y posteriormente Cozijnsen, Vrakking, & IJzerloo, (2000) evidencian falencias en los modelos de proceso innovador, que comprometen su confiabilidad respecto de la generación de resultados, al indicar que como media, solo 1 de cada 5 proyectos de innovación se constituye como viable, siendo los demás proyectos fracasados o poco rentables. En la misma línea Denning & Dew (2015) identifican que solo una de cada 500 patentes le permiten generar dinero a su inventor, y en el ámbito empresarial, alrededor del 4% de las nuevas – buenas ideas – son capaces de generar valor en el mercado. A manera de síntesis, la intención de los modelos de proceso innovador por responder a la pregunta sobre cómo las organizaciones innovan, no corresponde con su capacidad para explicar efectivamente este fenómeno.

Las anteriores reflexiones respecto del desempeño de los modelos de proceso innovador y sus limitaciones explicativas propician un espacio amplio de estudio que va desde la discusión sobre taxonomía de la innovación, sus métodos de estudio y herramientas de medición, hasta la reflexión sobre la naturaleza ontológica de los modelos y su correlación con las teorías propias del estudio de la innovación. Para esta investigación, la discusión se centra en un aspecto transversal a los dos límites anteriormente expuestos, al explorar la idea de una aparente incompletitud en los modelos de proceso innovador en las organizaciones, que acompaña su dificultad para explicar el fenómeno de las innovaciones.

La industria automotriz goza de múltiples ejemplos que evidencian la presencia de modelos de proceso innovador describibles como incompletos; el vehículo nuclear, el vehículo anfibio y hasta el mismo vehículo volador, son resultado de millonarios esfuerzos por innovar que culminaron en invenciones fracasadas (Cambou & Nash, 2002). De hecho, compañías rotuladas como innovadoras RIM<sup>11</sup>, creadores del dispositivo móvil BlackBerry, hoy se encuentran cerca de desaparecer por cuenta del fracaso en sus últimas innovaciones, como lo fueron la tableta PlayBook y BlackBerry Z10 (Medina, 2016). En resumen, si de manera deliberada una organización procura por generar rendimientos superiores materializando un sistema o proceso formal para desarrollar innovaciones, y a pesar de ello no lo logra, son posibles al menos dos escenarios: (i) que el desarrollo incompleto de los modelos de proceso innovador no permite explicar de manera suficiente la estructura y mecanismos para la emergencia de innovaciones en la organización, tal y como lo evidencian Escorsa & Valls (2003), Hidalgo et al. (2008) y Padmore et al. (1998), y (ii) que dada la relación existente entre innovación / transformación / evolución descrita por Arthur (2009), Frenken (2006), Wagner (2011) y Ziman (2000) resulta posible aproximarse al problema de la innovación desde la biología evolutiva.

Respecto del primer escenario, de tipo instrumental, la decisión de los directivos por innovar se refleja de manera formal o informal en la organización en el diseño e implementación de un proceso innovador que tiene como propósito el logro efectivo de innovaciones, mediante la ejecución de recursos económicos, humanos, técnicos, de infraestructura, entre otros, enrutados hacia este fin. Sin embargo, consideraciones como las de Christensen (1997) y demás autores

---

<sup>11</sup> Esta firma figura en el listado anual del 7/24 Wall Street que identifica las 10 organizaciones que en el 2013 dejarán de existir. Recurso electrónico disponible en: <http://www.foxbusiness.com/industries/2012/06/21/ten-brands-that-will-disappear-in-2013/>

expuestos a través de esta sección, indican que el general de las organizaciones a pesar de tener un buen direccionamiento, escuchar a sus clientes e invertir considerablemente en nuevas tecnologías, acaban igualmente fracasando. Esta contradicción permite inferir que, los modelos de proceso innovador resultan incompletos para explicar estructuralmente la emergencia de innovaciones, lo que abre un espacio de investigación para el desarrollo de un modelo de proceso innovador que explote los procesos de pluralización en la organización y proponga una alternativa articulada con las propiedades emergentes y discontinuas de este fenómeno.

En relación con el segundo escenario, su connotación es epistemológica, al orientarse a la dimensión orgánica de la organización (Morgan, 1991), específicamente al estudio de las organizaciones como sistemas capaces de exhibir vida (Pulgarín, 2013), y el desarrollo de sistemas bio-inpirados (Floreano & Mattiussi, 2008) como método de representación. En este contexto, la aproximación al problema de la innovación como un fenómeno complejo<sup>12</sup> abre un espacio de investigación para construir el modelo a partir de los mecanismos desarrollados por los sistemas vivos para la emergencia de innovaciones, específicamente, los mecanismos de exaptación (Gould & Vrba, 1982).

---

<sup>12</sup> Los intentos por comprender el fenómeno de la innovación y el proceso innovador de las organizaciones en términos de sus características emergentes, su dinámica discontinua y su complejidad creciente ha sido un esfuerzo redundante desde finales de los sesenta, que complementado con las aproximaciones evolutivas de Nelson y Winter (1982) desde la teoría económica demarcaron un nuevo escenario para el estudio de este ámbito. En efecto, los trabajos de Rosenberg (1969; 1978), Arthur (1989; 2009) y Lane y Maxfield (1997) evidencian la posibilidad y pertinencia de construir reflexiones desde los sistemas complejos naturales hacia los sistemas complejos sociales, particularmente en procesos como la innovación y la tecnología. Así, el fenómeno de la destrucción creativa originada por transformaciones esencialmente cualitativas (Schumpeter, 1942), se comporta como un proceso de complejidad creciente donde la emergencia de innovaciones en los sistemas económicos se presenta de manera espontánea e indeterminada y como resultado de procesos de interacción entre diferentes agentes de un sistema. La construcción de un marco referencial para el estudio de las innovaciones en condiciones de no linealidad, dio paso a desarrollos en este campo como los realizados por Stacey, (1997); Fonseca, (2002); Lane, (2005; 2006; 2009) y Bonifati, (2010a) quien argumenta haber formulado los cimientos para una teoría compleja de la innovación.

Dado lo anterior, el problema de estudio en esta investigación converge en comprender cómo las interacciones entre las poblaciones de actores que integran los ecosistemas de emprendimiento generan innovaciones a la manera de macro regularidades

### **3.3. Preguntas de investigación**

Para el desarrollo de la pregunta que esta investigación busca atender, se han tenido en cuenta las siguientes tres consideraciones: (i) La estructura de preguntas de investigación propuesta por Epstein, (1999) para abordar problemas que impliquen emergencia de regularidades a partir de micro comportamientos, (ii) el problema de la emergencia de innovaciones, (iii) la aproximación bio-inspirada al problema. Así, la pregunta de investigación es: ¿Cómo las interacciones entre las poblaciones de actores que integran los ecosistemas de emprendimiento generan innovaciones a la manera de macro regularidades?

### **3.4. Dimensiones de Análisis**

En relación con la argumentación teórica expuesta en la sección 2 de este documento, la presente investigación converge en tres dimensiones de análisis: (i) La innovación, (ii) Las exaptaciones, y (iii) La diversidad. Respecto de la primera dimensión emerge como la problemática central de trabajo en esta investigación, representada en uno de los problemas principales de la relación innovación – organizaciones, descrito en la sección 2 como modelos de proceso innovador. Las organizaciones se debaten en lo que Christensen (1997) define como el dilema de innovador, donde la tensión por la sostenibilidad del negocio se limita por la adecuada y suficiente generación de innovaciones por parte de la organización; en relación con el entorno, Pereira et al. (2012) evidencia la pertinencia de construir economías basadas en innovación que habiliten no solo el desarrollo económico de los países, sino también la sostenibilidad de las

organizaciones pertenecientes a esa economía. Esta relación organización – entorno – innovación, demarca entonces un espacio de interés basado en el desarrollo competitivo de las economías vigente tanto para el campo de la economía como el del estudio de las organizaciones.

La segunda dimensión se expresa como la propuesta novedosa de desarrollo de esta investigación, al tomar el aparato explicativo de los sistemas bio-inspirados (Floreano & Mattiussi, 2008) para identificar desde la vida el conjunto de mecanismos que por sus características son comparables con los procesos de innovación en las organizaciones. Como alternativa de estudio, se apropió la noción de exaptaciones como mecanismo de emergencia de innovaciones, el cual ha sido abordado recientemente como problema de estudio por diferentes autores (Adriani & Cohen, 2009; Andriani & Carignani, 2014; Andriani & Cattani, 2016; Bonifati, 2010, 2012, Cattani, 2006, 2008; Dew, 2007; Dew et al., 2004; Feltrinelli & Garda, 2009; Ganzaroli, 2011), denotando las exaptaciones como un mecanismo posible para el estudio y comprensión del proceso innovador en las organizaciones.

Respecto de la última dimensión, se expresa como una propiedad de los sistemas vivos vinculada a la evolución y transformación de los mismos (Kauffman, 2003). Así, la evolución es posible dada de la existencia de adyacentes posibles hacia los cuales los sistemas vivos puedan desplazarse en la búsqueda de posiciones más ajustadas o adaptativas (Kauffman, 1996). En relación con las reflexiones presentadas en la sección 2 de este documento, la diversidad es concebida en esta investigación como una dimensión habilitadora, es decir que su rol se despliega al interior del proceso de innovación, tanto en el ecosistema de emprendimiento, como en los StartUps que lo contienen, tal y como lo refieren Gould & Vrba (1982) respecto de la relación

entre los mecanismos de exaptación y el proceso de acumulación de diversidad propio de los sistemas vivos.

### **3.5. Objetivos de la investigación**

La estructura de esta investigación se suspende en un propósito macro definido como objetivo general, y cinco propósitos micro, definidos como objetivos específicos, los cuales contribuyen sistemáticamente con el logro del propósito macro y el abordaje del problema de investigación expuesto en la sección 3.3. A continuación se presenta el despliegue de objetivos.

#### **3.5.1. Objetivo general.**

- Explicar cómo las interacciones entre las poblaciones de actores vinculados a los ecosistemas de emprendimiento generan innovaciones a la manera de macro regularidades.

#### **3.5.2. Objetivos Específicos.**

- Caracterizar elementos concomitantes respecto de Innovación, biología y complejidad como aparatos teóricos para el desarrollo de la investigación.
- Proponer un marco conceptual para el desarrollo de un modelo bio-inspirado de proceso innovador.
- Identificar las combinaciones paramétricas óptimas para la maximización de innovaciones exaptativas.
- Identificar las combinaciones paramétricas óptimas para la maximización de innovaciones adaptativas.

- Proveer elementos de discusión que contribuyan con el desarrollo de la base de conocimiento respecto del proceso innovador en ecosistemas de emprendiendo.

### **3.6. Relación de la propuesta de investigación con los intereses de investigación en la Escuela**

En el año 2009, la Escuela de Administración de la Universidad del Rosario presentó ante el Ministerio de Educación de Colombia el documento que justificó la apertura del programa de Doctorado en Ciencias de la Dirección. En dicho escrito se especificaba que el objetivo central del programa consiste en desarrollar investigaciones en el marco de la realidad empresarial, el pensamiento estratégico y el liderazgo como elementos que constituyen la dirección y sobre los cuales descansa la perdurabilidad de la organización.

Por su parte, el documento de la línea investigación de Estrategia de la Escuela de Administración (Facultad de Administración, 2012) presenta los siguientes objetivos:

- Generar conocimiento en torno a la consecución de desempeños superiores y a la perdurabilidad de la organización, mediante el desarrollo de investigación básica, experimental y aplicada.
- Explicar formas de interacción entre organizaciones y patrones de comportamiento hacia adentro y hacia fuera, a partir de los nuevos retos que plantea el tejido empresarial.

Posteriormente, y para el año 2012, la línea de investigación en Estrategia constaba de cuatro programas de investigación: 1) Estrategia y Cooperación, 2) Estrategia y Contexto, 3) Estrategia y Empresa, y 4) Estrategia y Riesgo. La investigación propuesta se inscribió para entonces en el

programa de Estrategia y Empresa, el cual pretendía aportar explicaciones relacionadas con las acciones que emprende la empresa para la obtención de resultados organizacionales en términos de competitividad, creación de valor e innovación (Facultad de Administración, 2012)

En congruencia con los planteamientos de esta propuesta de investigación la línea de investigación en Estrategia optó por identificar a la innovación como uno de los aspectos angulares en el logro de resultados en la organización dada su capacidad para impulsar el logro de desempeños superiores, pues como es reconocido en el ámbito económico mundial la característica distintiva de las principales organizaciones del mundo es su capacidad innovadora. Es por esta razón que el estudio de la innovación se ha integrado como uno de los aspectos estratégicos en el ámbito de la dirección de organizaciones, entre otras razones por la capacidad que estas proveen para el desarrollo de ventajas competitivas sostenibles junto con la generación de desempeños económicos superiores.

En este contexto, esta investigación resulta pertinente al contribuir a la comprensión del fenómeno de innovación en las organizaciones, específicamente desde el desarrollo de un modelo que de manera paralela explique el comportamiento de este fenómeno en los denominados ecosistemas de emprendimiento. La consecución de este modelo supone una contribución positiva desde la academia al desarrollo de firmas de desempeño superior en contextos donde la internacionalización ejerce una presión significativa en el desarrollo competitivo de los países.

Recientemente, y con la puesta en marcha de la renovación del sistema de investigación de la Escuela de Administración en el año 2015, se introdujo un conjunto de líneas de investigación que

tienen por objetivo puntualizar las temáticas de trabajo del grupo, junto con alinearse con los estándares de investigación de escuelas de negocio de talla internacional. Una de estas líneas ha sido denominada como *línea de investigación en emprendimiento e innovación*, teniendo por objetivo la generación de conocimiento de calidad, pertinente y aplicable en el nivel meso y micro de la innovación que permita profundizar en la comprensión de las organizaciones y su entorno, impactando de manera favorable a la sociedad (Escuela de Administración, 2015).

Siendo el nivel micro de la innovación, el relacionado con el estudio de la innovación como una capacidad organizacional, y entre sus problemas de estudio identificar a (i) El proceso innovador y (ii) el estudio de la innovación y ventaja competitiva, esta investigación se ajusta transversalmente con la línea e intereses de investigación de la Escuela.

#### 4. Aspectos metodológicos

El marco teórico desarrollado en esta investigación, se orienta a discutir la innovación como un fenómeno por sus características complejo (Arthur, 2009), lo que significa reconocer la emergencia, auto-organización y dinámica, como propiedades connaturales de este fenómeno. En esta vía, metodologías tradicionales basadas en el estudio causal y las posibles correlaciones entre variables dependientes e independientes (Squazzoni, 2012) como lo son la regresión lineal o las ecuaciones estructurales, resultan insuficientes para abordar este tipo de problemas por cuanto no fueron concebidas para ello. Siguiendo las consideraciones de Squazzoni (2012) respecto de la metodología para el desarrollo de investigaciones soportadas en simulación basada en agentes, resulta difícil identificar una estructura única y homologada para tal fin, por ello el autor se limita a proveer un marco común de mejores prácticas, las cuales, junto con las aproximaciones de Gilbert & Troitzsch, (2005) permean el desarrollo metodológico de esta investigación.

En esta vía, el referente inicial para la estructuración metodológica de esta investigación fue el trabajo de Gilbert & Troitzsch, (2005) en su capítulo de simulación como método. Allí, los autores proveen dos elementos centrales para para el desarrollo de simulaciones, el primero es una aproximación general de las etapas para el desarrollo de investigaciones basadas en simulación, estas son: (i) el diseño del modelo, desarrollado en la sección 5.1, (ii) la construcción del modelo, y (iii) la verificación y validación, ambos desarrollados en la sección 5.3. El segundo elemento es la descripción grafica detallada del proceso de simulación, la cual es presentada en la sección 4.1, describiendo un sistema de 8 pasos que van desde la definición del objeto de estudio hasta los datos simulados. El total de los pasos son desarrollados en esta investigación en su orden en las secciones 3, 5, 6 y 7 de este documento.

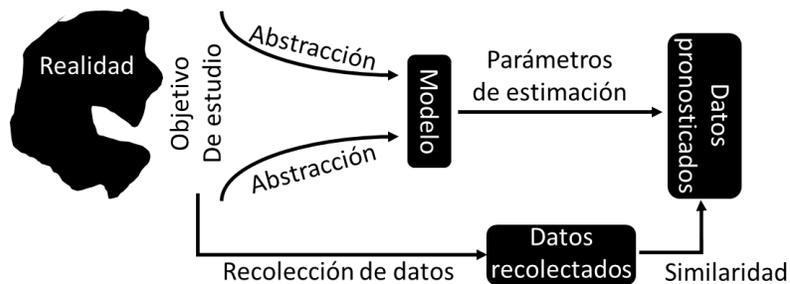
A fin de incrementar el nivel de detalle en la estructura metodológica de esta investigación, se optó por complementar las etapas anteriormente descritas, insertando algunas de las prácticas descritas por Squazzoni (2012) para el desarrollo de investigaciones en simulación. Estas son: (i) Definición de la pregunta de investigación, descrita en la sección 3.3, (ii) la especificación de los bloques de construcción del modelo, presentada en la sección 5.3, (iii) la implementación, ejecución y verificación del modelo, presentados en la sección 5.3 y 6, y (iv) el análisis de los productos de la simulación, presentados a lo largo de la sección 7.

#### **4.1. La simulación basada en Agentes**

La evolución en la capacidad de procesamiento de los computadores facilitó la exploración de aparatos metodológicos más ajustados al estudio de fenómenos que, por sus características se encuentran alejados del equilibrio (García-Valdecasas, 2011a). Una de estas vertientes converge en el denominado campo de la simulación, el cual en la actualidad cuenta no solo con su propio cuerpo de conocimiento, sino también con teorías y metodologías propias y desarrolladas (Banks, 1998). Si bien el modelamiento y la simulación resulta dos actividades individualmente distintas, en conjunto interactúan como un método según Gilbert (2007) útil para la comprensión de las interacciones entre entidades individuales y su entorno.

De la misma manera que en los métodos tradicionales, uno de los elementos base de la simulación es el modelo, para el caso de modelos computacionales, Carley (1999) describe este tipo de modelos como representaciones de fenómenos reales capaces de expresar sucintamente las relaciones existentes entre sus características y el objetivo del fenómeno representado, además de permitir el descubrimiento de cosas dadas a partir de la posibilidad de experimentación. Por su parte, Gilbert

& Troitzsch (2005) definen los modelos como una representación explícita, finitas y simplificada de la realidad, que inicia como lo describe la Figura 4.1 con la definición del objetivo del modelo, una vez el objetivo es claro, el siguiente paso es realizar un proceso de abstracción, con el propósito de recrear las condiciones de la realidad en el espacio del modelo, sin embargo, la necesidad de delimitar el modelo profiere un distanciamiento natural de la realidad que se describe como las limitaciones propias del modelo, pero que al mismo tiempo lo hace estudiable a la luz de los objetivos del investigador.



**Figura 4.1. Estructura lógica de un modelo basado en ecuaciones**  
 Fuente: Adaptado de (Gilbert & Troitzsch, 2005)

En el siguiente paso el modelo se somete a un conjunto de pruebas de validación donde los resultados de su ejecución deben corresponder con los datos recolectados del entorno, generando una relación de similaridad entre el modelo y la realidad. La característica de computacional se logra por (i) el tipo de lenguaje utilizado para la construcción del modelo, para el caso un lenguaje de programación (Gilbert, 2007), (ii) por la posibilidad de – correr y observar – la evolución del modelo dada la posibilidad de realizar acciones (Denning, 2010) y (iii) la capacidad de procesamiento de información a partir de los datos recolectados.

A fin de establecer las potenciales diferencias estructurales de la simulación respecto de las metodologías tradicionales y con ello sus bondades y oportunidades, aportes como los trabajos de Axelrod & Hamilton (1981) respecto de la emergencia de fenómenos como la cooperación, cuando el sistema de decisiones de los individuos se somete a condiciones de interacción en el tiempo resultaron críticos para la demarcación temprana del campo, describiendo el uso de la simulación como una tercera vía (Axelrod, 1997), o vía intermedia (García-Valdecasas, 2011; González, 2004) entre las formas clásicas del inductivismo y el deductivismo, donde el estudio de las interacciones entre los actores de un sistema permite explorar fenómenos que desde los métodos tradicionales resultarían casi imposibles de abordar. Ostrom (1988) por su parte, describe la simulación como un tercer sistema de símbolos para representar y comunicar ideas, donde cualquier teoría puede ser expresada por lenguajes naturales y las matemáticas, pero al mismo tiempo por lenguajes de programación. En una perspectiva de escala, la simulación basada en agentes posibilita la comprensión de fenómenos en la escala macro y micro, permitiendo el abordaje de los fenómenos en una escala relacional (Macy & Willer, 2002).

Bajo este contexto, la simulación como metodología se desarrolla a partir de su capacidad para construir desde la realidad representaciones simplificadas y explícitas de un sistema, estructura o fenómeno a la manera de modelos (Gilbert & Troitzsch, 2005), los cuales una vez validados permiten generar información como resultado de la interacción entre los elementos propios de la simulación; la información generada por las interacciones del modelo es a su vez susceptible de ser tratada estadística y analíticamente (García-Valdecasas, 2011; González, 2004), permitiendo validar hipótesis y desarrollar análisis y conclusiones en relación con los resultados del modelo, con lo cual esta metodología se convierte en una herramienta poderosa tanto para la validación y

exploración de teorías como para el estudio de las interacciones de un sistema (Macy & Willer, 2002).

Con respecto a la clasificación de los modelos y sus diferencias, Macy & Flache, (2009) y Cioffi-Revilla, (2014) entre otros, proponen un sistema de dos categorías; por un lado se encuentran (i) los modelos basados en ecuaciones, expresados a partir de variables y correlaciones entre variables y (ii) los modelos basados en agentes, expresados en términos de Mecanismos e interacciones (Miller, 2015). Los modelos basados en ecuaciones son constructos matemáticos donde el problema de estudio converge en una relación causal, de ahí la posibilidad de modelar por algoritmos o ecuaciones diferenciales; el propósito es comprender la significancia de las relaciones entre un grupo de variables bajo diferentes tipos de relacionamiento, uno – varios, varios – varios y varios uno y a partir de este sistema de interacciones desarrollar conclusiones sobre un fenómeno particular. En efecto, la dinámica en el desarrollo económico, los procesos industriales, y una gran cantidad de sistemas socio económicos han sido modelados bajo estos métodos (Cioffi-Revilla, 2014).

Por su parte, los modelos basados en agentes son descritos por Gilbert (2007) como programas computacionales capaces de (i) recrear la heterogeneidad individual de las entidades, (ii) representar parámetros de decisión y (iii) situarse geográficamente o en otros espacios o entornos, permitiendo estudiar la emergencia como una propiedad constitutiva del modelo (Epstein, 2006), múltiples escalas de análisis y la observación de procesos adaptativos y de aprendizaje; todos aspectos útiles para el estudio de problemas complejos (Squazzoni, 2012). Una característica fundamental de estos modelos es que los agentes pueden interactuar, es decir, se pueden intercambiar mensajes

informativos entre sí y actuar sobre la base de aquello que aprenden a partir de estos mensajes. Algunos ejemplos de aplicaciones varían desde el cerebro, la difusión de rumores, la organización y para el caso, la innovación, la cual se abordará en mayor detalle en la siguiente sección.

Gilbert (2007) y Windrum, Fagiolo, & Moneta (2007) describieron seis características distintivas de los modelos basados en agentes, las cuales refieren a su vez las principales fortalezas de este tipo de modelos en relación con los modelos basados en ecuaciones. Las características son presentadas a continuación:

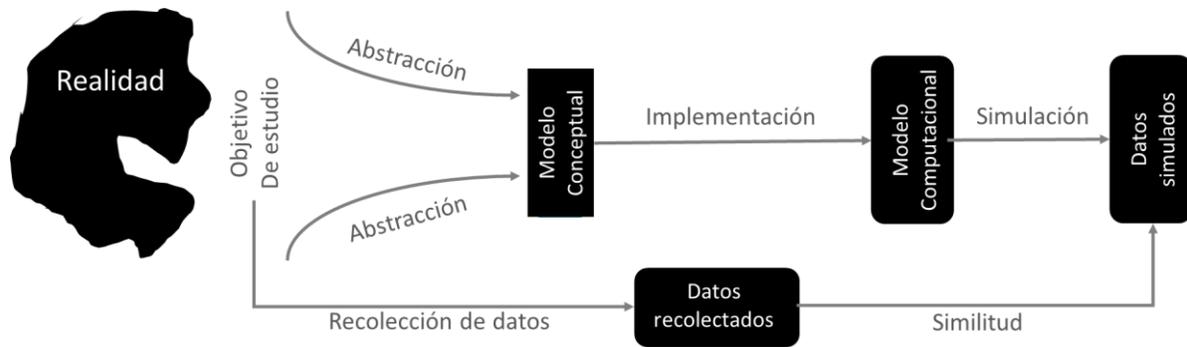
- *Correspondencia Ontológica:* De la misma manera como en el mundo real existen multiplicidad de actores y comportamientos, estos modelos pueden generar diferentes tipos de actores y mecanismos guardando una correspondencia con la realidad lo que facilita la interpretación de los resultados. Aspectos como la autonomía en la toma de decisiones pueden ser simulados en estos modelos, así los agentes toman decisiones en ausencia de un controlador central a la manera de sistemas adaptativos complejos (Cioffi-Revilla, 2014)
- *Agentes heterogéneos:* Buena parte de los modelos analíticos toman como referente de diseño un principio de simplificación de la realidad donde típicamente se asumen comportamientos similares de los actores a la manera de generalidades e.g., la típica organización o la típica sociedad, o se reduce el número de variables del modelo asumiendo un comportamiento normal de aquellas eliminadas – *ceteris paribus* –. Los modelos computacionales eliminan esta restricción dado que no exigen un número limitado de agentes y estos a su vez tampoco contienen limitaciones en el número de decisiones y mecanismos establecidos.

- *Representación del entorno:* En la simulación basada en agentes es posible representar el entorno en el cual los actores se desenvuelven, junto con los efectos potenciales asociados a las limitaciones físicas, estas pueden ser barreras físicas o geográficas, la dificultad en algunas zonas para el acceso a recurso, información y comunicación, aislamiento, aglomeración de poblaciones, entre otros. La introducción de características de entorno le permite al modelo ajustarse de mejor manera a las condiciones de la realidad donde los factores ambientales son determinantes en el comportamiento acciones y decisiones de los actores.
- *Interacción de los agentes:* Uno de los beneficios de los modelos basados en agentes es la posibilidad de interacción de los mismos tanto en relaciones Agente-Agente, como en Agente-Entorno, es decir que estos modelos pueden contener propiedades sistémicas propias de la realidad, estas interacciones pueden ser simples y limitarse a intercambios de información, o complejas y trascender a sistemas de toma de decisión basadas en la interacción con el entorno y otros agentes, al mismo tiempo la interacción con el entorno puede afectar las condiciones del mismo, lo que podría representar efectos en los demás agentes de la simulación
- *Racionalidad Limitada:* Buena parte de los modelos analíticos se suspenden bajo el supuesto de la optimización, donde la mejor solución posible está dada por una función de maximización o minimización en relación con los recursos disponibles; para que estos modelos sean funcionales se debe asumir un comportamiento racional en los actores, donde su estructura de decisiones corresponda con un conjunto de reglas para optimizar su utilidad o riqueza. Los modelos basados en agentes no solo pueden simular comportamientos irracionales de los agentes, sino también integrar sistemas de decisión

adaptativos, es decir sujetos a la variabilidad de las condiciones del modelo en el tiempo, esto integra propiedades evolutivas al modelo difícilmente observables en modelos analíticos o basados en ecuaciones.

- *Aprendizaje:* Los modelos basados en agentes son capaces de simular procesos de aprendizaje propios de los sistemas abiertos, es decir que los agentes pueden aprender de sus decisiones, de las decisiones de otros o de las condiciones de entorno, y a partir de ello tomar decisiones; también resulta posible simular aprendizajes colectivos donde un grupo de agentes afecta sus decisiones e.g., por la influencia de otros agentes o el entorno, o desarrollar un aprendizaje evolutivo que se transforma y ajusta a las condiciones del entorno y la estructura de decisiones de los otros agentes.

La Figura 4.2 ilustra una adaptación del esquema desarrollado por Gilbert & Troitzsch (2005) para describir la estructura de los modelos basados en agentes. A diferencia de la figura 4.1 presentada previamente, Gilbert & Troitzsch (2005) resaltan la relación entre el modelo, la simulación y los datos simulados entendidos como la información procesada que arroja el modelo como resultado de la ejecución del programa, todo es posible por las propiedades computacionales del modelo, paralelamente, la relación entre los datos recolectados y los datos simulados permiten identificar el nivel de similaridad del modelo en relación con la realidad, y a partir de ello determinar el grado de validez del mismo. Si los datos recolectados discrepan sustancialmente de los datos generados durante el proceso de simulación, el modelo es inadecuado y es necesario corregirlo (Banzhaf et al., 2016)



**Figura 4.2. Estructura lógica de un modelo de simulación basado en agentes**

*Fuente: Adaptado de (Gilbert & Troitzsch, 2005)*

En relación con la utilidad de la simulación como metodología para el estudio y comprensión de fenómenos, González, (2004) menciona 4 aspectos asociados a la naturaleza metodológica de la simulación, (i) su compromiso con el individualismo metodológico y con la prioridad de lo micro frente a lo macro, (ii) su interés por los sistemas masivamente locales y paralelos, carentes de autoridad central y generadores de procesos de mano invisible, (iii) la asunción de no racionalidad económica en sus agentes, aunque tampoco la excluya y (iv) la habilidad para capturar procesos emergentes que no pueden anticiparse intuitivamente. Al analizar cada una de las 4 características resulta de interés denotar algunos de los aspectos revisados, en primera instancia se definen los componentes básicos de una SMA, estos son: los agentes, sus atributos y sus parámetros de interacción, en este sentido del comportamiento de cada agente emergen los comportamientos de grupo visibles en cada simulación. Como lo menciona Axelrod al describir las relaciones entre agentes, poblaciones de agentes, estrategias y poblaciones de estrategias.

#### **4.2. Simulación basada en agentes en las ciencias sociales**

El estudio de las hoy denominadas ciencias sociales computacionales (Gilbert & Abbott, 2005) o y algunas vertientes como la sociología computacional (Squazzoni, 2012) tiene por sus orígenes

el interés inicial desde la sociología en el estudio de fenómenos que demarcan las siguientes 4 características: (i) la emergencia de patrones, estructuras y comportamientos sociales a partir de la acción individual de sus agentes (García-Valdecasas, 2011a), (ii) el interés por los sistemas masivamente locales y paralelos, carentes de autoridad central y generadores de procesos de mano invisible, (iii) la asunción de no racionalidad económica de sus agentes, y (iv) la habilidad para capturar procesos emergentes que no pueden anticiparse intuitivamente (González, 2004, p.204).

Si bien el desarrollo de modelos basados en ecuaciones (Macy & Flache, 2009) ha permitido explicar fenómenos a partir de la identificación de relaciones significativas entre las variables del modelo, las ciencias sociales evidencian una particular inclinación por aquellos modelos donde los individuos y su interacción juegan el papel central, de manera particular las variantes del M&S relacionadas con los modelos basados en agentes. Esta delimitación, ha propiciado la existencia de problemas de estudio propios de la sociología computacional, demarcados delimitados de la siguiente manera: (i) problemas inherentes a sistemas alejados del equilibrio (González, 2004), (ii) problemas donde el objetivo no sea la predicción de fenómenos sino la comprensión de procesos (iii) problemas donde la transformación (evolución y el aprendizaje) del sistema social resulten una característica significativa y (iv) Problemas describibles a partir de mecanismos en vez de variables.

En el ámbito epistemológico el M&S en ciencias sociales supone dos estadios de fundamentación, por una parte el generativismo social introducido por Chomsky, (1965) y por otra parte el individualismo metodológico de Weber, (1978). El generativismo tiene por objetivo dar explicación a la emergencia de macro regularidades a partir de micro comportamientos, como

evidencia Schelling (1978) en su clásico modelo de disgregación social. Si bien su origen se remonta a los trabajos de Chomsky (1965) en relación con la emergencia del lenguaje, el generativismo supone profundas implicaciones en el contexto de las ciencias sociales, particularmente en el estudio de normas y comportamientos sociales explicables solo por sus propiedades emergentes.

A fin de focalizar el generativismo en el ámbito de las ciencias sociales, Epstein, (1999) demarco el estudio de la denominada ciencia social generativa a partir de una pregunta central: “Como pueden interacciones locales descentralizadas de agentes autónomos heterogéneos generar una regularidad dada?” (Epstein, 1999, p.41). Así, el conjunto de fenómenos explicables a partir de este cuestionamiento supone un espacio de estudio en este ámbito. Es este el caso de algunos de los fenómenos sociales, como lo son la distribución de la riqueza, la segregación social, la difusión de rumores, el patriotismo, entre otros donde la emergencia de macro patrones de comportamiento es resultado de la acción e interacción individual de cada uno de los individuos que integran el sistema.

Por su parte, el individualismo metodológico tiene por origen las ideas del Weber (1968) respecto de la relación entre el individuo y las colectividades. Para ello Weber indica que las colectividades son resultados o modos de organización de los actos particulares de los individuos, para lo cual los comportamientos colectivos emergen a partir de acumulados de comportamientos individuales. Según (Macy & Flache, 2009), esta aproximación supone dos ideas clave, por un lado el – botton-up idea – donde los patrones macrosociales deben ser entendidos como el resultado de procesos en el nivel microsocial y por el otro el – action principle idea – que indica que la

agregación desde lo micro a lo macro no es resultado de los atributos individuales sino de las decisiones emergentes.

El individualismo metodológico a su vez es susceptible de ser dividido en dos categorías, clasificables según el mecanismo a través del cual se explique cómo las interacciones locales generan dinámica poblacional. La primera categoría se refiere a la teoría de la utilidad esperada la cual propone un mecanismo deductivo de los comportamientos futuros, en contraparte se encuentra la evolución y el aprendizaje que proveen una aproximación retrospectiva donde se propone el remplazo de las opciones por las reglas y las intenciones por las repeticiones (Macy & Flache, 2009). Es entonces la aproximación retrospectiva el espacio natural para soportar el estudio de fenómenos sociales emergentes a partir del M&S, pues uno de sus propósitos fundamentales es la comprensión de patrones y rutinas de comportamiento que evolucionan a partir de las lecciones aprendidas en el pasado y no por la predicción de los eventos futuros.

En síntesis, Aunque este método suele ser bastante habitual en los dominios de las ciencias físicas y naturales, ha empezado a usarse recientemente también en las ciencias sociales, esto, por su capacidad para explicar la relación entre las micro estructuras y los macro comportamientos (Schelling, 1978), es decir, como emergen estructuras sociales a partir de la suma de acciones individuales, y a su vez cómo las creencias, deseos y oportunidades de los individuos son afectadas por dichas estructuras, integrando así el nivel macro y el micro de la realidad social (García-Valdecasas, 2011a). El M&S en ciencias sociales es entonces un espacio de investigación delimitado tanto instrumental como epistemológicamente, lo que significa la existencia problemas, preguntas, medios y modos propios para la exploración y comprensión de un conjunto particular de

fenómenos sociales, aquellos donde la interacción de las variables, componentes o agentes suponen una condición esencial para el abordaje de los fenómenos.

La literatura reconoce los experimentos de Axelrod (1984), Epstein & Axtell (1996) y Schelling (1978) como determinantes para el desarrollo del campo. El primero de ellos desarrolla un sistema simplificado de interacciones para explicar el fenómeno de la segregación étnica en los Estados Unidos, en una década donde los conflictos raciales representaban buena parte de las discusiones políticas y sociales del país. El modelo se construye a partir de la existencia hipotética de un umbral de tolerancia entre las personas de una sociedad en relación con otro grupo étnico. En este sentido, un mayor umbral de tolerancia profiere por un mayor nivel de satisfacción con el conjunto de vecinos que habitan alrededor del lugar de residencia de cada individuo. El umbral de tolerancia determina en adición que tan cómodo se siente en el barrio donde habita, así, si el número de personas de otro grupo étnico es superior al umbral de tolerancia del individuo, esta toma la decisión de cambiar de barrio y viceversa.

La versión original del modelo desarrollada por Schelling, (1978) Corresponde a un sistema matemático de iteraciones dada la insuficiencia en el estado de las tecnologías de información disponibles para lograr simulaciones de manera eficiente. No obstante, la importancia del modelo acompañó el desarrollo de versiones recientes del mismo valiéndose de herramientas modernas y adaptadas a los parámetros metodológicos de la simulación. De manera particular, la versión más difundida del modelo ha sido desarrollada bajo la plataforma de software Netlogo, la cual es una de las más importantes en el ámbito de la simulación moderna por su simplicidad y capacidad para

facilitar un lenguaje de alto nivel al servicio de este tipo de metodologías. Bajo la estructura de Netlogo, el modelo se describe de la siguiente manera.

El modelo se construye a partir de un sistema de grilla que representa una zona urbana cualquiera. En su interior, cada cuadrante es una zona habitable que varía su estado en cuatro posibles opciones: (i) Si el cuadrante está en color rojo, quiere decir que se encuentra ocupado por una persona de la etnia roja; (ii) Si el cuadrante está en color verde, quiere decir que se encuentra ocupado por una persona de la etnia verde; (iii) Si el cuadrante está en color negro, quiere decir que se encuentra disponible para ser ocupado por cualquiera de los dos grupos, y por último (iv) si se encuentra en rojo o verde con una – X – quiere decir que el habitante ha cruzado su umbral de tolerancia y se cambiará de vivienda. La única restricción del modelo es que no puede haber más de un agente o habitante en el mismo cuadrante.

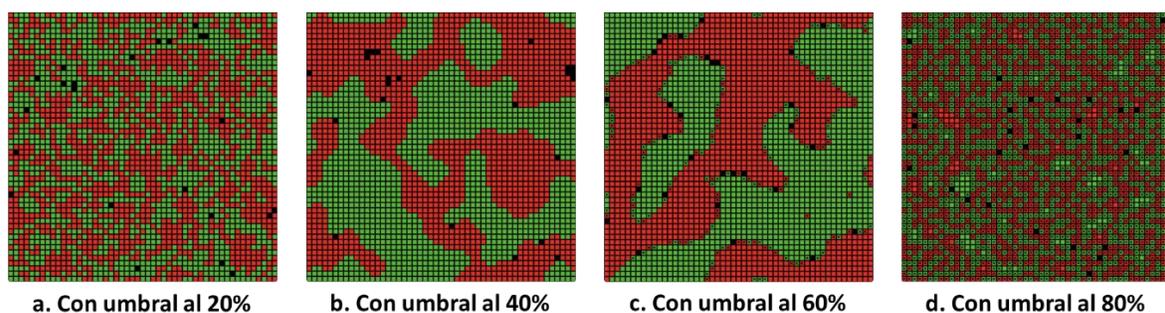
V1	V2	V3
V8	H	V4
V7	V6	V5

*Figura 4.3. Grilla de nueve cuadrantes*  
*Fuente: Elaboración propia*

El modelo inicia con una distribución aleatoria del total de habitantes en la grilla, cabe anotar que el número de habitantes es siempre menor al total de espacios disponibles a fin de cumplir con la restricción dada previamente. Cada habitante tiene una posición y al mismo tiempo un número N de vecinos no superior a 8 dada la capacidad máxima de cuadrantes posibles circundantes (Figura 4.3). Con la distribución dada, los habitantes toman la decisión de permanecer o cambiar de posición según el umbral de tolerancia establecido y el número de vecinos de diferente grupo

étnico a su alrededor. SI el número de vecinos es mayor al umbral, el habitante cambia de ubicación de manera aleatoria a una nueva; si por el contrario el número de vecinos le genera satisfacción el habitante permanece en su locación. El modelo itera N veces, tantas como las necesarias para encontrar una configuración óptima donde todos los habitantes se encuentren satisfechos con sus vecinos, una vez sucede esto el modelo se detiene.

Más que en el diseño del modelo, la importancia del trabajo de Schelling proviene de las conclusiones del mismo. Como supuesto intuitivo las sociedades con umbrales de tolerancia superiores al 50% (o intolerantes) suelen concentrarse a la manera de guetos (García-Valdecasas, 2011a), por el contrario en sociedades donde el umbral es inferior al 50% la tendencia en la creación de guetos suele ser nula. No obstante, el modelo de Schelling evidencia un resultado contra intuitivo, pues con un umbral del 20% el comportamiento del modelo es similar al de configuraciones con umbrales del 80% (Figura 4.4) donde no emergen ningún patrón de relacionamiento como resultado de las decisiones e interacciones de los agentes. En la misma vía, para configuraciones entre 40% y 60% si resulta evidente la existencia de guetos (Figura 4.4) lo que signa la presencia de este fenómeno de la segregación en sociedades donde el umbral de tolerancia es medio por encima de aquellas extremistas.



*Figura 4.4. Progresión de umbrales del modelo Schelling (1978)*

*Fuente: Elaboración propia*

El segundo modelo, desarrollado por Axelrod, (1984) discute las formas en las cuales la cooperación emerge como forma de acción en una comunidad donde el egoísmo resulta ser la estrategia dominante. Para este propósito, el autor toma como punto de referencia una aplicación de la teoría de la acción racional (Weber, 1978) conocida como el juego del dilema del prisionero (Axelrod, 1984; Burger, 1963). Es este juego los individuos conocen el total de alternativas de decisión junto con las consecuencias de las mismas, no obstante, y aun cuando la mejor decisión se da cuando todos los jugadores deciden cooperar, la individualidad acaba por llevarlos a una decisión de no cooperación.

	<b>Jugador 2 Coopera</b>	<b>Jugador 2 NO Coopera</b>
<b>Jugador 1 Coopera</b>	Jugador 1 gana 3 Jugador 2 gana 3	Jugador 1 gana 0 Jugador 2 gana 5
<b>Jugador 1 No Coopera</b>	Jugador 1 gana 5 Jugador 2 gana 0	Jugador 1 gana 1 Jugador 2 gana 1

*Figura 4.5. Matriz de pagos del dilema del prisionero*  
*Fuente: A partir de (Axelrod, 1984)*

Esta racionalidad contraintuitiva emerge de la evaluación que cada uno de los prisioneros hace a partir de las alternativas expresadas en la matriz de pagos (Figura 4.5) del juego, donde la escogencia racional de no cooperar se sustenta en el alto nivel de riesgo al que se expone cada jugador si el otro decide no cooperar, junto con el deseo superar al otro si toma la decisión de cooperar. Entonces “¿Bajo qué condiciones emergerá la cooperación en un mundo de egoístas sin autoridad central?” (Axelrod, 1984, p.3). Dado que en los sistemas sociales los individuos no son capaces de analizar el total de las situaciones y calcular la estrategia optima, sus decisiones no solo

no son óptimas, sino que terminan adaptándose a aquello que ha sido efectivo en relación con el desempeño histórico del sistema (Axelrod, 1997).

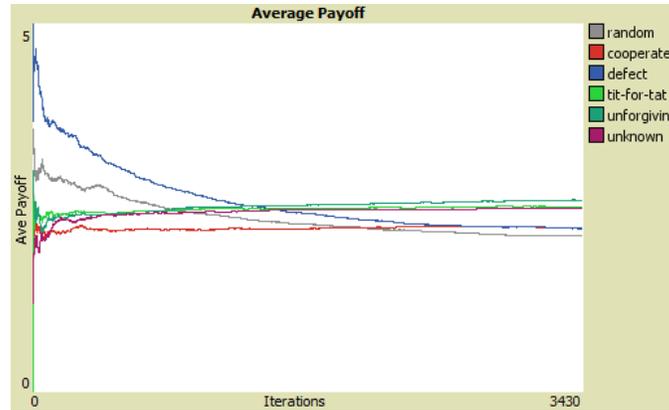
Es decir que las decisiones de los individuos no suceden a la manera de acciones racionales para la maximización de un resultado (como busca dar cuenta el juego del dilema del prisionero) sino por el contrario emergen como adaptaciones a un contexto mediado por factores de la historia. Esta aproximación del autor desplaza la discusión de las decisiones de los individuos de un plano lineal, a uno complejo donde la adaptación y ajuste de los individuos al contexto explica de mejor manera algunos de los fenómenos sociales. En ámbito de la evolución biológica, la efectividad en los métodos de adaptación no corresponde a la solución que reúne la mejor combinación posible de características (solución óptima) sino por el contrario a aquella que se ajusta de mejor manera al entorno y sus elementos circundantes, para lo cual, aquellas estrategias que han resultado relativamente efectivas en la población se distribuyen ampliamente, y por el contrario, aquellas que son menos efectivas, resultan menos comunes (Axelrod, 1997).

Para validar estas afirmaciones Axelrod desarrolló un juego de simulación a la manera de torneo, juntando 14 expertos en diferentes ramos de la ciencia (matemáticas, sociología, economía, política y psicología) que asumieron la posición de prisioneros expuestos al dilema presentado previamente; bajo una mecánica de – todos contra todos – cada participante debía diseñar una estrategia que le permitiese obtener la renta más alta posible después de iterar decisiones en doscientas ocasiones seguidas. Según la configuración de la matriz de pagos (Figura 4.5), las rentas pueden oscilar entre 0 y 1000 para casos donde un individuo coopere siempre y otro no coopere

siempre, no obstante, resulta difícil creer que un individuo pueda cooperar indefinidamente ante la constante reacción contraria de otro.

Como resultado, las mejores estrategias obtuvieron calificaciones entre 400 y 500 puntos, lo que evidencia la inexistencia de una estrategia óptima en el torneo, y por el contrario un conjunto de estrategias dominantes con características similares y puntajes en promedio superiores. Con 504 puntos la estrategia ganadora fue denominada “TIT FOR TAT” en esta el individuo inicia el juego cooperando y de allí en adelante actúa en función de la acción que haya tomado el otro individuo en la jugada anterior. Así, el jugador inicia cooperando y continúa haciéndolo en tanto el otro jugador lo haga, ante una reacción contraria del otro, cambiará la estrategia y no cooperará mientras el otro no lo haga, y así sucesivamente hasta finalizar el juego. En conclusión Axelrod, (1984) indica que aquellas estrategias que priorizaron la cooperación obtuvieron los mejores resultados, lo que demuestra que aun cuando los intereses individuales primen, es más conveniente cooperar.

Una versión reciente del modelo fue desarrollada por Wilensky (2002) utilizando agentes que de manera individual apropian una estrategia y reaccionan con ella ante su interacción con otros agentes en un espacio virtual. La Figura 4.6 presenta el promedio de pagos por estrategia después de 3430 iteraciones, para el caso, los resultados fueron muy similares en relación con el torneo realizado por Axelrod en los 80's. Al iniciar la simulación los agentes que desarrollan estrategias de no cooperación obtienen las mejores rentas, no obstante, estas caen de manera estrepitosa al punto de convertirse en la peor remuneradas al finalizar la simulación.



**Figura 4.6. Comportamiento de pagos del dilema del prisionero después de 3430 iteraciones**  
*Fuente: A partir de Wilensky (2002)*

Por el contrario, TIT FOT TAT demuestra con el tiempo ser la estrategia más efectiva y con mejores rentas, al tener no solo un desempeño constante sino progresivamente superior a las demás estrategias. Como se mencionó previamente, esta estrategia por sus características resulta la más adaptativa al reaccionar en función de la última decisión del contrincante, para lo cual, tanto esta simulación como la realizada previamente validan las aproximaciones de Axelrod (1984) alrededor de la superioridad en las estrategias adaptativas, el comportamiento complejo de los sistemas sociales y la oportunidad en la cooperación.

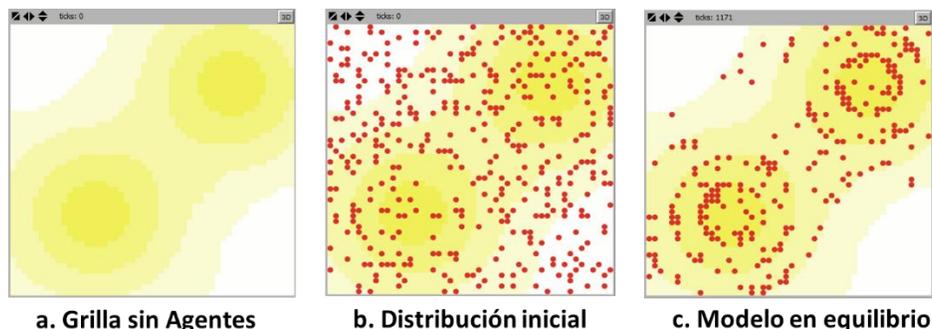
El último modelo, desarrollado por Epstein & Axtell, (1996), es reconocido como uno de los modelos principales para sustentar la denominada – Ciencia Generativa – (Epstein, 1999), la cual al mismo tiempo se constituye como el pilar epistemológico de la simulación basada en Agentes tratado en este documento. El modelo denominado Sugarscape, al utilizar la metáfora de los depósitos de azúcar en su estructura, tiene como propósito hacer – emerger –, a partir de las interacciones entre agentes las propiedades de un sistema social real. Epstein & Axtell, (1996) defienden la tesis de que los comportamientos sociales son resultado de la interacción y reglas

propias del individuo, las cuales en conjunto traen como resultado la emergencia de patrones de comportamiento complejos que dan cuenta de estos comportamientos, alineándose con las aproximaciones de Schelling (1978) respecto de la emergencia de macro-estructuras sociales a partir de micro-comportamientos.

En este modelo, una población heterogénea de agentes, todos provistos de la capacidad de tomar decisiones autónomas en relación con su entorno cercano, compiten por un número finito y asimétrico de recursos distribuidos alrededor de un entorno bidimensional. La propiedad de autonomía, hace que el total de agentes actúen en ausencia de un controlador central (Anderson, 1999) lo que significa que el modelo es auto-organizado, siendo este, un modelo complejo (Epstein & Axtell, 1996), respecto de la heterogeneidad, se refiere al conjunto de atributos o características genéticas que cada agente posee de manera individual (e.g. la ubicación geográfica y la cantidad de recursos que posee) , las cuales al ser distribuidas de manera aleatoria hacen que cada agente sea único en comparación con los demás.

Aunque Epstein & Axtell, (1996) aumentan progresivamente la complejidad del modelo a través de su texto agregando atributos como transmisión de enfermedades, reproducción, e intercambio cultural entre otros, para este documento se presentan dos modelos experimentales desarrollados por los autores. En su versión más básica el modelo inicia con una distribución de recursos (azúcar) como lo presenta la Figura 4.7 donde la secciones de mayor disponibilidad se concentran en la esquina superior derecha y la inferior izquierda, en contra parte las dos equinas restantes son espacios donde la disponibilidad de azúcar es mínima; a fin de incrementar el nivel

de detalle de las zonas los espacios con mayores niveles de azúcar se distinguen por la intensidad del color, así los espacios más oscuros representan secciones con mayores recursos y viceversa.



*Figura 4.7. Evolución del comportamiento de agentes modelo Sugarscape*  
*Fuente: A partir de Epstein & Axtell, (1996)*

Dada la configuración del mundo, la simulación inicia con una distribución aleatoria de los agentes (Figura 4.7 – a), para lo cual, el hecho de que un agente inicie la simulación en una posición favorable o desfavorable para sí mismo, corresponde a un factor estocástico, de la misma manera que las condiciones sociales iniciales para los individuos en una sociedad. Como se indicó previamente, cada agente es único en su perfil genético, que para el caso se describe en dos características básicas (i) Visión, correspondiente al número de posiciones que cada agente puede ver desde su posición actual y (ii) metabolismo, que se refiere a la cantidad mínima de azúcar que un agente consume para sobrevivir. Para ambas características el criterio de asignación resulta también aleatorio para cada agente.

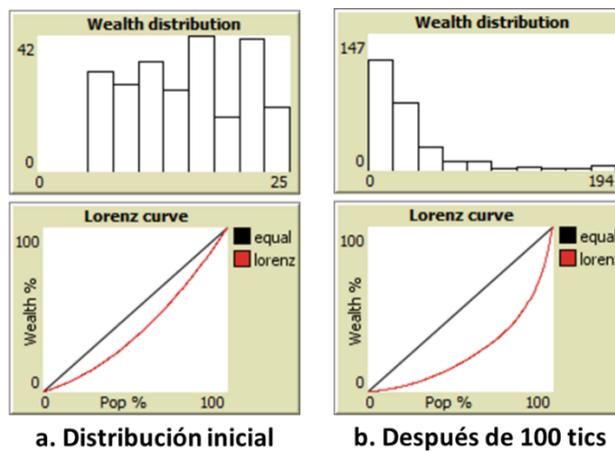
De manera individual, cada agente busca la mejor posición posible, correspondiente a la casilla más cercana con la mayor cantidad de azúcar disponible. Para ello, cada agente salta de casilla en casilla bajo un mecanismo simple de reglas donde puede desplazarse siempre al adyacente posible

siguiendo el sistema de vecindad de Von Neumann (Wolfram, 1984), es decir desplazarse a la siguiente posición en dirección norte, sur, oriente u occidente, hasta donde los límites de su visión lo permita; los desplazamientos diagonales no son posibles en la simulación. El salto del agente hacia una posición nueva implica el consumo de cierta cantidad de azúcar según sea su tasa metabólica, para lo cual, aquellos agentes que agoten su azúcar en los desplazamientos mueren y son eliminados de la simulación.

Como se observa en la Figura 4.7 – b, una vez iniciada la simulación el desplazamiento de los agentes hacia su objetivo, converge en la emergencia de un patrón auto-organizado donde aquellos agentes con mejores características, i.e. una menor tasa metabólica y mayor visión se ubican en las zonas más oscuras o de mayores recursos, junto a aquellos agentes que nacieron de manera aleatoria en estas mismas secciones. Paralelamente, una cuantía menor de agentes con corta visión y baja tasa metabólica logran colonizar las posiciones periféricas donde obtienen azúcar suficiente para sobrevivir pero no para acumular, impidiéndoles acumular lo suficiente para avanzar hacia mejores posiciones. Al comparar los cuadrantes b y c de la Figura 4.7 se observa una diferencia considerable respecto de la cantidad de agentes, esto a causa de aquellos que mueren en el intento de encontrar posiciones de equilibrio en relación con su tasa metabólica y los recursos disponibles en la zona, como media antes que la simulación llegue a una posición de equilibrio entre un 35% y 40% de los agentes suelen morir en el intento.

Una de las acepciones más interesantes del modelo es descrita Epstein & Axtell, (1996) y desarrollada por Li & Wilensky (2009) para estudiar el comportamiento de los individuos respecto de la distribución de la riqueza, lo que por sus características simula las condiciones propias de un

modelo capitalista. De la misma manera que en el modelo original, en este se demuestra cómo bajo condiciones normales de distribución de la riqueza (los agentes en general tiene en promedio los mismos recursos) el sistema tiende toda vez a una distribución de ley de potencia donde pocos agentes concentran la mayor parte de la riqueza, y los demás agentes quienes integran la mayoría de la población en el modelo cuentan con niveles mínimos de riqueza, propiciando altos niveles de desigualdad entre los agentes del modelo.



*Figura 4.8. Variación de Distribución de riqueza y curva de Lorenz*  
Fuente: A partir de Li & Wilensky (2009)

La Figura 4.8 presenta el desempeño histórico del modelo desde su inicio hasta pasados 100 tics o unidades discretas de tiempo para el modelo. Para un número N de ejecuciones del modelo este presenta el mismo patrón consistente de comportamiento, al inicio de la simulación (parte izquierda de la figura) el total de la población cuenta con una media similar de riqueza, donde la curva de Lorenz se aproxima bastante a la diagonal de igualdad. Después de cierto tiempo el modelo tiende a variar la estructura de distribución de riqueza (parte derecha de la figura) redistribuyendo la riqueza a una estructura de ley de potencia lo que significa un distanciamiento significativo en los niveles de igualdad de la población. En palabras de Epstein & Axtell, (1996),

si los agentes viven para siempre el precio en el modelo tiende a equilibrarse, alineándose con las predicciones de la económicas clásicas, no obstante al agregar condiciones más humanas, como vida finita y descendencia el modelo nunca alcanza el equilibrio. En síntesis la importancia del Sugarscape radica en su alineación con la tesis de Gell-Mann, (1995) al evidenciar como un sistema de reglas simples e individuales, puede explicar fenómenos sociales en mayor escala de complejidad.

#### **4.2.1. Ventajas y desventajas de la simulación basada en agentes en Ciencias Sociales**

Además de las fortalezas descritas en la sección anterior, algunos autores han desarrolla aproximaciones que reflejan ventajas en el uso de esta metodología, respecto de otras tradicionalmente utilizadas. González, (2004) reconoce dos ventajas fundamentales de la simulación: (i) promueve una aproximación interdisciplinar a un mismo tipo de proceso, es decir que la simulación incorpora diferentes elementos de otras metodologías para abordar el mismo fenómeno, y (ii) gracias a lo anterior, permite salvar algunas de las insuficiencias asociadas al tipo de datos que tradicionalmente ha usado la investigación sociológica (p.11), así es posible proponer investigaciones donde hay un déficit de información empírica y su costo de levantamiento es superior. La tabla 4.1 presenta algunas de las principales ventajas de la simulación respecto de metodologías tradicionales en el estudio de fenómenos sociales.

**Tabla 4.1.***Ventajas de la Simulación Vs otras metodologías*

<b>Teorías y Metodologías</b>	<b>Desventaja de la metodología</b>	<b>Ventaja de la simulación</b>
<b>Modelamiento estadístico</b>	No proporciona por si misma una explicación de los fenómenos que detecta	Tiene poder explicativo por cuanto las regularidades emergen en el desarrollo de la simulación
<b>Teoría de acción racional</b>	Debe asumir generalidades en el comportamiento de los individuos para ser concluyente	Abre la posibilidad de caracterizar el comportamiento de cada actor o agente sin comprometer la formalización del modelo
<b>Teoría de juegos</b>	Asume que todos los actores tienen la misma posibilidad de interactuar con todos	Es posible modelar el entorno con sus restricciones connaturales como lo son geografía, comunicación, redes, etc.
<b>Modelamiento por ecuaciones</b>	Asume el comportamiento lineal para todos los fenómenos	Establece diferencias entre los fenómenos causales y emergentes y permite simular ambos

*Fuente: Elaboración propia a partir de García-Valdecasas (2011) y González (2004).*

Otras ventajas adicionales se reflejan en aspectos de orden operativo, pero que resultan cruciales para la efectividad en el desarrollo de una investigación. Estos aspectos son la validación de experimentos costosos, y la naturaleza ética de esta experimentación, respecto del primero algunos experimentos requieren de varias pruebas para identificar por ejemplo cual es el camino mas efectivo para la trasmisión de información o recursos a través de una red. Bajo una metodología donde la validación sea netamente empírica es necesario recrear varios escenarios de la red con parámetros diferentes y después de ejecutado identificar cuál de ellos fue el más efectivo, en el caso de la simulación los experimentos con construidos de manera virtual (García-Valdecasas, 2011b), es decir que las re combinaciones de parámetros para encontrar configuraciones mas efectivas solo implica la manipulación de los parámetros en el programa aproximándose a un costo marginal de casi cero.

En relación con las implicaciones éticas, hace referencia a aquellos problemas que por sus características la validación empírica del fenómeno supone unos costos sociales superiores a la

importancia en la comprensión del fenómeno. ejemplo de ello el estudio de las guerras, el tráfico de órganos, las redes de comercio de armas entre otros. La simulación permite caracterizar las condiciones de una guerra en un programa de computador, y a partir de ello estudiar el comportamiento del fenómeno, de hecho, la recombinación de parámetros permite a su vez recrear varias guerras en un mismo espacio, y validar la información en estudio a partir de las regularidades que emerjan en los diferentes experimentos, todo esto sin asumir el costo de ninguna vida humana.

Respecto de las desventajas, o aspectos que impactan la oportunidad de esta metodología en el desarrollo de investigaciones, González (2004) resalta dos aspectos generales, uno de carácter técnico y otro de carácter empírico. En el ámbito técnico, la necesidad de aprender un lenguaje de programación, junto con la lógica propia del proceso de programación son un obstáculo pronunciado para muchos investigadores. Si bien en la actualidad algunas plataformas como Netlogo cuentan con lenguajes específicamente diseñados para el desarrollo de simulaciones basadas en agentes, resulta complejo para las personas el dominio de estos lenguajes pues implica en primera instancia memorizar un número mayor de palabras que representan funciones y comandos dentro del lenguaje de programación. Una vez el problema del lenguaje ha sido superado, el segundo problema es la lógica de programación, es decir el concatenamiento de funciones individuales del lenguaje, en una secuencia que de la manera más eficiente posible haga que la simulación opere como se requiere.

Aun cuando parecería una actividad conexas al aprendizaje de lenguaje, no necesariamente conocer los comandos y funciones significa saber cómo organizarlos para que operen

correctamente. Esta habilidad, resulta en ocasiones el reto más difícil de desarrollar para el investigador, principalmente cuando su formación ha sido basada en disciplinas sociales. En el ámbito empírico el inconveniente resulta más relevante, por cuanto la calidad de todo modelo se basa en la cantidad de datos disponibles para soportar los supuestos de la simulación (González, 2004), así, la ausencia de un mecanismo de contrastación empírico somete al modelo de juicios sobre la arbitrariedad en la construcción del mismo. En varios de los casos, el costo del levantamiento de la información empírica resulta enorme, y dado que si el modelo no es posible de evaluar tampoco es posible determinar su precisión (González, 2004), resulta poco factible proveer resultados robustos bajo el uso de esta metodología.

La fuente de esta desventaja proviene de su naturaleza ontológica de la metodología, que como se describió previamente corresponde con una alternativa intermedia (o tercera vía) entre el plano deductivo y el inductivo, así dado que esta metodología no busca probar teoremas sino por el contrario proveer información procesada para la comprensión de un fenómeno, y esta información emerge de un mundo simulado y no real, el reto de alineación del modelo con respecto a la realidad se constituye como uno de los aspectos centrales, que impactan la calidad en el desarrollo de este tipo de metodologías.

#### **4.3. Simulación basada en agentes en el campo de la Administración**

Como se mencionó previamente la naturaleza ontológica de la simulación basada en agentes abre la posibilidad de comprender algunos fenómenos de la organización y el individuo, por sus características difíciles de ser estudiadas en el marco de la causalidad y las posibilidades metodológicas propias de las vertientes inductivistas y deductivistas. De manera particular, la simulación basada en agentes en el campo de la Administración, tiene por sus orígenes las

aplicaciones desde la economía como método para la comprensión de los problemas propios de la economía evolutiva, este subcampo denominado – economía computacional basada en agentes – (Tesfatsion, 2001) converge en el estudio de sistemas de agentes autónomos que interactúan en sistemas organizacionales con recursos deliberadamente organizados para un propósito establecido.

Como metodología, ha ganado importancia en el estudio de la Administración gracias a posibilidad de soportar explicaciones de problemas organizacionales donde la racionalidad limitada de los actores juega un rol principal y las preguntas de investigación involucran tensiones o renuncias (Davis, Eisenhardt, & Bingham, 2007). Las propiedades emergentes e incrementales del proceso de construcción y toma de decisiones de los actores, como problema central en el estudio de las firmas (Fleming, Rumelt, Schendel, & Teece, 1996), denotan un patrón donde la mejor solución posible es el resultado de la interacción de los actores y no de la comprensión óptima del problema (Wall, 2016), aquí la fortaleza explicativa de la simulación basada en agentes en el campo. Los estudios se han centrado en tres categorías de problema que en perspectiva describen una amplia agenda de investigación de corto y largo plazo. Estos problemas son 1) Predicción de consecuencias 2) optimización de ciertas tareas y 3) Simulación de sistemas (Fioretti, 2013; Harrison, Lin, Carroll, & Carley, 2007; Wall, 2016), todos problemas comunes a los retos vigentes en el campo, aun en el marco de las metodologías tradicionales al estudio de la administración.

Aun cuando la literatura disponible en relación con la simulación basada en agentes en Administración es progresivamente creciente, resulta posible identificar algunos ejes comunes en

el desarrollo de este campo, particularmente en el conjunto de sistemas o mecanismos que explican las principales problemáticas de la organización. Harrison et al., (2007) proponen una primera clasificación general de modelos distribuida en dos categorías, los modelos estocásticos y modelos determinísticos, posteriormente, y profundizando en la noción organizacional, Fioretti (2013) propone una clasificación por la interacción interorganizacional e intraorganizacional de los actores que confirma un sistema. Por último, Wall, (2016) propone una clasificación basada en los mecanismos de tensión y renuncia que los actores desarrollan en relación con el proceso de toma de decisiones. A pesar de las diferencias en los sistemas de clasificación de los autores mencionados, en conjunto convergen en reconocer (i) *El exploration vs exploitation*, (ii) el *NK fitness landscapes* y (iii) el *Differentiation vs Integrativo* como los tres modelos generales para la explicación de los problemas de la organización denotados previamente.

El modelo de mecanismos *exploration vs exploitation* descrito por March, (1991) ha tenido un progresivo impacto en disciplinas asociadas a la administración como la innovación, la ventaja competitiva, el diseño organizacional y la difusión de tecnologías, entre otros (Wall, 2016). En su estructura, March (1991) refiere la explotación como el perfeccionamiento y extensión de las competencias, tecnologías y paradigmas existentes, y la exploración como la experimentación con nuevas alternativas; Así, las organizaciones experimentan tensiones entre la exploración y la explotación dado que ambos mecanismos compiten por obtener recursos y ser prioritarios en el proceso de toma de decisiones. Otro elemento importante dentro del modelo converge en el papel que desempeña el aprendizaje en relación con estos mecanismos, dado que la introducción de mejoras en la precisión para la toma de decisiones implica el aprendizaje y mejoramiento en el desempeño de los mismo, es decir, responder de mejor manera a la realidad (Wall, 2016).

En relación con el modelo de mecanismos *NK fitness landscapes* desarrollado por (Kauffman & Weinberger, 1989) los actores se desplazan constantemente a posiciones más ajustadas a las condiciones del entorno a fin de sobrevivir, generando un equilibrio dinámico del sistema que puede describirse como una forma de adaptación, que para el caso resulta más eficiente que los sistemas de optimización tradicional. El pionero en la introducción del modelo al campo de la administración fue Levinthal, (1997), al desarrollar un modelo donde los agentes evidenciaban como las adaptaciones locales tienen como efecto cambios organizacionales radicales cuando las organizaciones buscan mayores niveles de ajuste a las condiciones del entorno, lo que supone tanto acciones planificadas, como reacciones de corto plazo. Al tratar problemas asociados a procesos de optimización este modelo de mecanismo cobra importancia en disciplinas asociadas a la Administración como la logística, los problemas de transporte, la gestión de operaciones entre otros.

En relación con el modelo de mecanismos *Differentiation vs Integration* descrito por Lawrence & Lorsch, (1967) desde el campo de la administración, la diferenciación es descrita como el grado de segmentación de un sistema organizacional, en relación con los posibles subsistemas que de manera individual desarrollan atributos particulares identificados como relevantes en el entorno (Lawrence & Lorsch, 1967, p.3). Respecto de la integración, es concebida como el proceso para lograr unidad de esfuerzos a través de los diferentes subsistemas para el logro de tareas en la organización (Lawrence & Lorsch, 1967, p.4). De la misma manera que en el modelo de exploración explotación, la organización experimenta tensión en su sistema de decisiones a partir

de la definición de prioridades respecto de ambos dos mecanismos, dada la dificultad para manifestarse en paralelo.

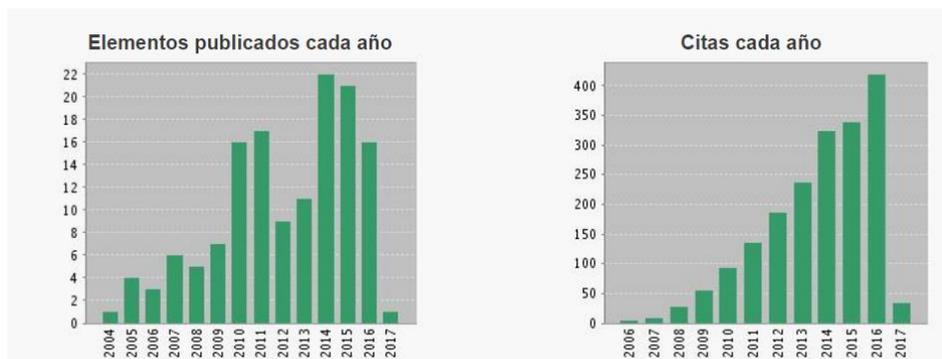
Las aplicaciones en simulación utilizando el modelo de mecanismos *Differentiation vs Integration* inicia con los trabajos de Dosi, Levinthal, & Marengo, (2003) quienes abordaron la diferenciación como la división cognitiva de la labor y como esta afecta la generación de nuevas soluciones en la organización, respecto de la integración se presentó en relación a cómo y qué soluciones son escogidas. Trabajos posteriores como los de Siggelkow & Rivkin, (2005) integraron la noción de turbulencia del entorno y sus efectos en los ambos mecanismos y Knudsen & Levinthal, (2007) quienes ampliaron los experimento integrando la noción de error, para ello integraron asimetrías en la capacidades de los evaluadores o tomadores de decisión para identificar una correspondencia entre el desempeño de los proceso de diferenciación e integración con las capacidades de los actores. Además de esta aplicación, desarrollos en campos como estructura organizacional, ciclos de producción y estrategia dan cuenta de la importancia de este modelo en el campo de la simulación (Wall, 2016)

#### **4.4. La Simulación Basada en Agentes para el estudio de la innovación**

La necesidad de métodos no lineales como la simulación basada en agentes para el estudio y comprensión de la innovación trasciende más allá de la emergencia misma del método en el ámbito de las ciencias sociales, para tomar como punto de partida las aproximaciones de Schumpeter, (1939) respecto de la innovación como un fenómeno de transformación en las estructuras y rutinas de la firma. En esta vía, además de los aportes históricos desde la economía evolutiva al campo (Dosi & Nelson, 1994) la maduración de este método en la innovación ha evidenciado el desarrollo de un campo de estudio con una consolidación creciente por más de 2 décadas de desarrollo (Watts

& Gilbert, 2014), donde la simulación se ha convertido en una herramienta imperativa para actuar eficazmente sobre la innovación (Maddison, 1991)

La Figura 4.9 da cuenta de esta afirmación, presentando la evolución histórica de publicaciones por año en revistas indexadas internacionales, así como también el crecimiento en el número de citas por año de estas publicaciones. Para realizar esta búsqueda, se utilizó la plataforma en línea Web Of Science – WOS – tomando como palabras de búsqueda: (i) Agent-based, (ii) AMB, (iii) Agent Based Model, y (iv) innovación, tanto en el campo de título como en el de tema, generando los resultados presentados en la Figura 4.9. Tal y como se observa, para ambos casos la variación año a año demarcan un crecimiento que podría considerarse como exponencial, si se tiene en cuenta los crecimientos de otras metodologías aplicadas al estudio de la innovación como lo son las basadas en ecuaciones y algunas metodologías cualitativas, En particular desde el 2014 se evidencian los picos más altos de publicación y citación posiblemente atribuible a la simplificación de las herramientas de simulación (como Netlogo) que han hecho más asequible el método a investigadores con diferentes perfiles y en diferentes disciplinas. En cualquiera de los casos, el desempeño histórico del campo resalta el interés de los investigadores por ampliar la base de conocimiento respecto de la innovación, valiéndose de esta metodología.



*Figura 4.9. Variación de publicaciones y citas SBA e Innovación*  
*Fuente: (WOS, 2017)*

En relación con el acervo de problemas tratados en las investigaciones, su clasificación proviene de categorías inherentes a la tradición en el estudio de la innovación, por una parte los trabajos se han enfocado en el desarrollo de modelos basados en el comportamiento a fin de explicar la complejidad en el proceso de difusión de innovaciones (Garcia & Jager, 2011; J. González, Cosenza, Klemm, Eguíluz, & Miguel, 2007), en la misma línea, Nan, Zmud, & Yetgin (2014) enfocaron su trabajo en el desarrollo de un modelo para la comprensión de los mecanismos e interacción en el proceso de difusión de innovaciones, mientras Jaffe, Newell, & Stavins (2003) se enfocaron en la aplicación de un modelo el estudio de la apropiación de innovaciones por parte de los actores de sociedad. Otras investigaciones, desarrollan simulaciones para estudiar el proceso de difusión de innovación basándose en la estructura y desempeño de la red, de donde ha emergido uno de los modelos más importantes en este contexto conocido como Simulación de la Dinámica del Conocimiento en Redes de Innovación (Pyka, Ahrweiler, & Gilbert, 2001; Pyka et al., 2004) o SKIN por sus siglas en inglés.

Paralelamente, los trabajos sobre conocimiento, aprendizaje e innovación, demarcan otra categoría de problemas; las principales reflexiones convergen en el papel que desempeñan los procesos de transferencia de conocimiento en la innovación (Jiang & Hao, 2013), la relación entre el entorno y la organización, y cómo desde fuera resulta posible la apropiación de nuevos conocimientos (Gilbert, Ahrweiler, & Pyka, 2007) y por último los trabajos de Gay & Dousset (2005) que evidencian como el conocimiento y la tecnología necesarios para innovar generalmente se encuentran lejos de las capacidades principales de la firma.

Por último, otras investigaciones convergen en el desarrollo de modelos para explicar la naturaleza, dinámica e interacciones del proceso innovador. Para ello autores como Garcia, (2005) desarrollan simulaciones alrededor de la emergencia de innovaciones de producto a partir de estructuras que promueven la investigación y desarrollo en las firmas, y la generación de nuevas combinaciones de componentes, mientras que Dawid, (2006) y Ma & Nakamori, (2009) se enfocan en el desarrollo de simulaciones para la comprensión del cambio tecnológico y las estrategias de las firma para afrontar sus devenires. Por su parte Almirall & Casadesus, (2010) desarrollaron una simulación para identificar los factores que intermedian en el desarrollo de procesos de innovación abierta y cerrada en las firmas, junto con Millington & Wainwright (2016) quienes utilizan la simulación para comparan diferente modelos de innovación y determinar su efectividad sobre un único contexto empírico.

La capacidad multidisciplinar de la simulación basada en agentes (Gilbert & Troitzsch, 2005; Squazzoni, 2012) se refleja en los diferentes campos de aplicación reseñados previamente, evidenciando no solo las posibilidades actuales de uso de la metodología, sino también la escalabilidad hacia todos los problemas de investigación asociados a innovación. De manera particular, el modelo objeto de esta tesis, se ajusta a la tercera categoría descrita en esta sección, la cual se relaciona con el uso de la simulación basada en agentes para la comprensión del proceso innovador.

## **5. Modelo de proceso innovador en ecosistemas de emprendimiento: Diseño conceptual y mecanismos**

Uno de los principales retos en el desarrollo de la simulación basada en agentes como método se ha centrado en la integración de componentes que garanticen la rigurosidad y universalidad propia de cualquier método de investigación, esto, dado que los modelos basados en agentes se desarrollan bajo lenguajes de programación disimiles entre sí y en ocasiones ajustados a las propias necesidades del modelo (e.g., lenguajes de alto nivel como JAVA), en contraposición a los métodos analíticos tradicionales donde la formulación de modelos se construye bajo un lenguaje matemático común que facilita procesos de comunicación, validación y replica (Grimm et al., 2006);

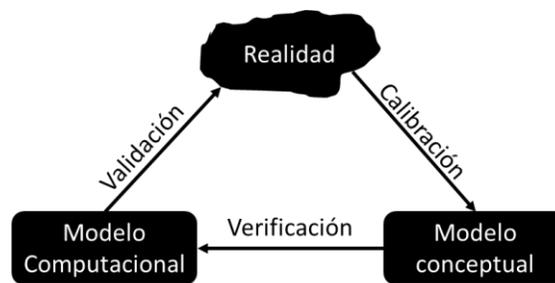
La heterogeneidad de los lenguajes, junto con una amplia variedad de disciplinas interesadas en el desarrollo del método, trajo consigo dificultades en sus primeros años de evolución, en particular asociadas a la ambigüedad y difícil lectura de buena parte de las publicaciones disponibles sobre modelos basados en agentes (Grimm et al., 2006). Como parte de diagnóstico, Grimm et al. (2006) identifican dos causas centrales que afectan la descripción de los modelos y con ello la rigurosidad y universalidad del método; por un lado, la ausencia de un protocolo estándar para la descripción de los modelos, lo que ha llevado a varios investigadores al desarrollo de publicaciones basados en sus propios criterios y estructuras, o en paradigmas inherentes a sus disciplinas. Como segundo aspecto los modelos se describían a menudo sin una clara indicación de las ecuaciones, esquemas y reglas que el modelo utiliza, junto a las dificultades en la validación del código dadas las restricciones de espacio en la mayoría de las publicaciones.

En lo que respecta a la segunda de las consideraciones, autores como Cioffi-Revilla (2014), Gilbert & Troitzsch (2005) y Squazzoni (2012), entre otros, se dieron a la tarea de desarrollar en cada uno de sus textos apartados enfocados a edificar los estándares metodológicos de la simulación basada en agentes. En los modelos basados en agentes la explicación de los fenómenos trasciende del tratamiento de variables a la caracterización de mecanismos dada la correspondencia funcional y estructural de este método con los principios de la sociología analítica (Anzola, 2015), es decir que la capacidad explicativa de este método de investigación no se sustenta en la identificación de factores que marcan una diferencia en la probabilidad del evento que busca explicar (Verba, King, & Keohane, 1994) sino por el contrario en detallar de manera clara la forma como los fenómenos son generados (García-Valdecasas, 2014).

Haciendo uso de la metáfora de la – caja negra – las explicaciones a través de mecanismos se orientan a la observación de los vínculos existentes entre las entradas – inputs – y las salidas – outputs – con el propósito de – abrir la caja – y hacerla traslucida (García-Valdecasas, 2014). Al interior de la caja los elementos observables son (i) los actores, quienes generan los fenómenos a explicar y (ii) las acciones que estos desarrollan individual o colectivamente – desplazando – el estado del fenómeno de una posición a otra (Axelrod & Cohen, 2001). Garcia-Valdecasas, (2014) y Squazzoni, (2012) introducen un tercer elemento de observación al considerar la estructura de interacciones de los actores como un factor necesario para explicar adecuadamente los fenómenos al interior de la caja.

Dado este contexto, autores como Cioffi-Revilla (2014), Garcia-Valdecasas (2014) y Squazzoni (2012) definen las (i) acciones, (ii) interacciones y (iii) el entorno, como el

ordenamiento lógico en el diseño de cualquier modelo, donde el entorno representa el espacio en cual los actores desarrollan sus interacciones, y el cual por sus características, además de incidir en el comportamiento de estos resulta ser una espacio útil para la explicación de los fenómenos. Respecto de las fases de diseño, Anzola, (2015), Cioffi-Revilla, (2014) y Squazzoni (2012) convergen en describir (i) la calibración, (ii) la verificación y (iii) la validación como los mínimos deseables a fin de garantizar rigurosidad en el modelo y alineación con la realidad.



*Figura 5.1. Estructura de Calibración, verificación y validación.  
Fuente: Adaptado de Sargent (2008) y Squazzoni (2012)*

La calibración (Figura 5.1), hace referencias a la garantía que debe proveer la parametrización de modelo en relación con los parámetros del mundo real (Squazzoni, 2012). Aun cuando los modelos sean abstractos, los parámetros y mecanismos diseñados deben corresponder con características propias de los actores, interacciones y entorno estudiados. En relación con la verificación (Figura 5.1), se enfoca en la relación transformacional entre el modelo conceptual y el modelo computacional (Anzola, 2015), en decir en la correspondencia entre el diseño del modelo y su expresión a través del lenguaje de programación. Así, un modelo que ha sido verificado es aquel dónde cada línea del programa hace exactamente lo que el diseño del modelo indica.

Por último, la validación (Figura 5.1) se refiere a la relación representacional entre el modelo y la realidad (Anzola, 2015), es decir a la coherencia entre el comportamiento del modelo y el comportamiento de la realidad. Así, un modelo valido es aquel en el que sus actores, interacciones y entorno operan acordes a las características del mundo real. Para el diseño de este modelo se apropió tanto la estructura como el proceso metodológico propuesto por los autores expuestos a fin de garantizar la robustez y rigurosidad del modelo. Para ello, en esta sección se desarrolla una descripción conceptual del modelo y sus mecanismos, integrando los parámetros de calibración anteriormente descritos y por último se presenta el desarrollo computacional del modelo bajo un sistema de protocolo que evidencie estructuradamente los parámetros inherentes a la verificación y validación del mismo.

### **5.1. Modelo conceptual y mecanismos**

Como paso previo a la descripción del propósito, resulta imperativo establecer la clasificación del modelo en relación con la taxonomía de modelos basados en agentes de (Gilbert, 2007), a fin de contextualizar cada uno de los elementos descriptivos que se presentaran a continuación. En esta vía, el modelo corresponde a la categoría de *rango medio*, al ser un modelo que busca explicar un fenómeno social particular, pero de una manera tan general como suficiente para que los resultados del modelo puedan aplicar a otros contextos similares (Gilbert, 2007). Este tipo de modelos según (García-Valdecasas, 2011a) deben ser abstractos y al mismo tiempo realistas, es decir que debe corresponder con la realidad de un fenómeno social alineándose con la naturaleza de abstracción propia de cualquier tipo de modelo.

La validación de modelos de rango medio, consiste en la comprobación de similitudes cualitativas entre el modelo y la realidad que pretende representar (García-Valdecasas, 2011;

Gilbert, 2007) dada las propiedades explicativas propias de la simulación basada en agentes. Tales similitudes se encuentran relacionadas con el número de elementos que desde la realidad se pretende extraer para la simulación, para ello el modelo debe desarrollarse bajo un equilibrio entre la subjetividad de las representaciones y la complejidad de la realidad. “El mejor modelo del mundo es el mundo mismo, pero dicho modelo difícilmente explica algo acerca de cómo funciona el mundo” (García-Valdecasas, 2011, p.105).

Como herramienta para el desarrollo del modelo de esta investigación, se utilizó inicialmente el software Netlogo en su versión 5.2, la cual fue progresivamente actualizada, hasta llegar a la versión más reciente, siendo esta la versión 6.0. Para ambos casos los parámetros de construcción de entidades y variables de estado corresponde con los establecidos por el aplicativo. En relación con los agentes o individuos (Grimm et al., 2006), se construyeron bajo la clasificación de agentes establecida por Wilensky & Rand (2015) para la plataforma NETLOGO, así el modelo contiene un solo tipo de agente que corresponde a la categoría de – agente tortuga –. Para el diseño y calibración del modelo, se construyeron el conjunto de especificaciones empíricas (Squazzoni, 2012) de los actores, interacciones y el entorno, a partir de dos fuentes de información: (i) Una encuesta realizada (ver tabla 5.1) a 35 emprendedores en 6 países del mundo que pertenecen a la firma Wayra, aceleradora de proyectos de base tecnológica del grupo Telefónica, (ver anexo 1) y (ii) el conjunto de Informes que describen las características estructurales del ecosistema de emprendimiento en el país, específicamente los trabajos de (Goodwin, Linares, & McGowan, 2014; Guerrero & García, 2013; Quiroga et al., 2014). Los detalles sobre la firma Wayra y su rol en el desarrollo de esta investigación, serán descritos posteriormente en la sección 5.1.1.5.

**Tabla 5.1.**  
*Resumen de encuesta a emprendedores de Wayra*

#	Preguntas	Posibles respuestas	Proporción
Q1	¿En qué país se encuentra la casa matriz u oficina principal de su StartUp?	Colombia	37%
		Otros	63%
Q2	¿Hace cuánto inició con su StartUp actual?	Entre 1 y 12 meses	24,2%
		Entre 13 y 18 meses	20%
		Entre 19 y 24 meses	68,6%
Q3	¿Cuál es su profesión?	Administrador	26,0%
		Ingeniero	31,0%
		Abogado	6,0%
		Contador	6,0%
		Otros	31,0%
Q4	Indique el número de socios fundadores de su StartUp	2	31,4%
		3	40%
		4	5,7%
		5 o mas	22,9%
Q5	¿Cuál es la profesión básica de su actual socio o socios?	Administrador	9%
		Ingeniero	60%
		Abogado	9%
		Contador	6%
		Otros	16%
Q6	¿Qué tan importante es para usted que su socio o socios se encuentren formado(s) en un área de estudio diferente a la suya?	Muy importante	62,9%
		Importante	34%
		No tiene importancia	2,86%
Q7	¿Qué característica es más importante para usted al momento de escoger un socio?	Conocimiento	97,14%
		Dinero	2,86%

*Fuente: Elaboración propia*

### 5.1.1. Agentes del modelo

Los agentes son considerados dentro de la simulación como unidades espaciales (Grimm et al., 2010) con funciones específicas dentro del modelo. Para el caso del espacio de simulación en Netlogo, los agentes son unidades que pueden seguir instrucciones y desplazarse a través del espacio de simulación (Wilensky, 2017), sus interacción y decisiones influyen en el comportamiento y transformación del espacio de simulación, así como las características de este espacio afectan las decisiones e interacciones de los agentes. El modelo cuenta con 5 diferentes

agentes: (i) los emprendedores, (ii) los ingenieros, (iii) los híbridos, (iv) los emprendimientos o StartUps, y (v) los centros de emprendimiento; todos en conjunto conforman el ecosistema de emprendimiento del modelo que interactúa y se transforma en función de las combinaciones de parámetros configuradas al inicio de cada simulación. Los detalles sobre cada uno de los agentes y los parámetros vinculados se presentan a continuación.

#### ***5.1.1.1. Emprendedores.***

De la misma manera que en los ecosistemas de emprendimiento, los actores denominados emprendedores son identificados para el caso como los portadores de ideas con valor para el mercado y potencial de innovación (Gómez & Mitchell, 2014). Respecto de sus atributos principales, el – ser emprendedor – es tomado como una variable de capacidad distintiva, es decir que un emprendedor es aquel agente dotado con la capacidad distintiva de emprender en comparación con los demás. En el modelo la capacidad para emprender es entendida como el conocimiento posible que tiene cada emprendedor para desarrollar nuevas combinaciones de producto con potencial de innovación, el detalle de las combinaciones de producto se discutirá posteriormente.

En relación con esta capacidad, se introdujo en el modelo un mecanismo que permite simular las diferencias entre cada agente, dado que la literatura evidencia una asimetría entre la intención de emprender en los individuos y su capacidad de emprender (Varela, 2008). Así, tanto en un ecosistema de emprendimiento como en el modelo, es posible encontrar algunos emprendedores con una capacidad superior para emprender y otros con una más reducida. Cabe resaltar que el diseño de este mecanismo busca diferenciar los perfiles de los emprendedores y no limitar su probabilidad de éxito, la cual como se presentará posteriormente, se encuentra asociada a factores

del entorno de simulación, haciéndose incontrolable. En este sentido un agente con una alta capacidad para emprender puede ser igualmente exitoso a uno con capacidad menor, la diferencia radica en la mayor posibilidad de creación de productos que puede hacer más asertivo el resultado final.

Respecto de la cantidad de agentes (tipo emprendedor), en la primera versión del modelo se desarrolló un mecanismo donde la población de emprendedores correspondía con una proporción de la población total de tortugas, no obstante, la carencia de evidencia empírica que sustentara esta configuración junto con la utilidad del parámetro para la investigación llevó a la redefinición del mismo transformándolo en un parámetro con selector manual denominado – total\_población – que puede variar a elección del observador.

Finalmente, cada agente de este tipo cuenta con tres atributos adicionales, (i) Capital de inversión, (ii) coeficiente de ajuste, y (iii) conocimiento del mercado. Todos los atributos describen características singulares para cada agente, además de ser determinantes en el proceso de creación de sociedades o StartUps y el posterior logro efectivo de innovaciones. Respecto del capital de inversión, este representa el monto máximo que un emprendedor está dispuesto a arriesgar en el emprendimiento. Al ser este factor uno de los aspectos más destacados en la literatura respecto del éxito y fracaso de los StartUps (Pardo & Alfonso, 2015) se optó por ajustarlo dentro del modelo como un parámetro controlado por selector manual denominado – max\_dinero – el cual define la asignación individual de capital para cada agente.

El modelo asume el supuesto de aversión al riesgo expuesto por (Innpulsa, 2017b) donde cada emprendedor no destina el total de sus recursos disponible, sino una proporción de los mismos, guardado algunas reservas de capital que puede utilizar en el caso de quiebra o para la creación de futuras StartUps. En relación con el conocimiento del mercado, la variable representa el nivel de apropiación del emprendedor respecto de panorama de posibles mercados y la probabilidad de éxito de un producto o servicio en el mismo. A diferencia del capital de inversión este atributo inicia como un valor aleatorio asignado bajo una distribución de ley de potencia asignado automáticamente en la configuración inicial del modelo.

Respecto del atributo de coeficiente de ajuste o – fitness – como se ha denominado en el modelo, responde a una característica esencial para el desarrollo de colectividades durante la simulación, representando el grado de afinidad que un agente tiene respecto de otro en relación con la distribución de sus atributos. Según Schiffman & Lazar (2005) los individuos desarrollan dos tipos de grupos (i) los grupos de pertenecía y (ii) los grupos de referencia, en el primer tipo de grupos la asociación emerge entre individuos con características afines en relación con el objetivo o propósito del grupo, así, con dificultad un individuo podrá asociarse o pertenecer a una colectividad donde no observe reflejado algunas de sus características propias. El segundo grupo emerge entre individuos y referentes, manteniendo el objetivo o propósito común del grupo, se tratan de colectividades donde uno o varios miembros poseen atributos reconocidos por los integrantes como superiores, y en esta vía otros individuos busca igualar a los referentes mediante la imitación de sus prácticas.

El atributo de conocimiento del mercado se corresponde con la experiencia, aprendizaje e información que un emprendimiento tiene de los mercados, además de la probabilidad de éxito de un producto en los mismos. En el modelo este conocimiento es representado como un rango de visión de información, así los emprendedores con un conocimiento de mercado mayor no solo tienen la capacidad de conocer una proporción mayor de mercados en comparación con aquellos con un conocimiento bajo, sino que al mismo tiempo tiene una mayor probabilidad de éxito al momento de escoger el mercado indicado para la introducción de su producto o servicio.

En la encuesta aplicada a la empresa Wayra (Ver Anexo 1), uno de los aspectos más relevantes corresponde con la importancia que los emprendedores dan al nivel de conocimiento de sus socios respecto del capital de inversión, resaltando como más relevantes el conocimiento, a partir de ello, se integró el parámetro denominado `-%_afinidad_personas` – controlado por selector manual, el cual tanto para los emprendedores como para los siguientes dos tipos de agentes establece una de las condiciones mínimas para la creación de StartUps durante la simulación. En esta vía, los agentes del modelo replican los mecanismo de construcción de grupos o colectividades explicados por Schiffman & Lazar (2005), donde la probabilidad de asociación entre uno o varios agentes aumenta en la medida en que los coeficientes de afinidad son similares, solo en algunos casos se construyen grupos donde las diferencias entre coeficientes son mayores, particularmente cuando la presión por completar el número mínimo esperado de socios es alta y el total de socios posibles tiene coeficientes inferiores y similares entre sí; Los detalles sobre la generación de colectividades se presentaran en una sección posterior.

Respecto del cálculo del coeficiente este se construye para cada agente por una distribución asimétrica de pesos por variable entre los atributos de capacidad de emprendimiento, conocimiento de mercado y capital de inversión. Para efectos de calibración, la encuesta aplicada a los StartUps de Wayra (Ver Anexo 1) evidencio que al momento de escoger socio el 97.1% de los emprendedores prefieren socios con conocimiento del mercado por encima socios con capital de inversión disponible, para lo cual los dos primeros atributos son asignados con un peso del 90% y el último con un valor de 10%.

#### ***5.1.1.2. Ingenieros.***

La necesidad de representar en el modelo otro tipo de agentes además de los emprendedores emerge de tres fuentes de información: (i) las reflexiones de Goodwin et al. (2014) entre otros, respecto de la importancia de las capacidades técnicas e ingenieriles para el desarrollo de StartUps innovadores tanto en la categoría de base tecnológica como en sociales e industriales, (ii) el alto volumen de emprendimientos de alto impacto que sustentan su innovación en un componente tecnológico e ingenieril (Ismal et al., 2014) y por último (iii) los resultados de las encuestas aplicadas en Wayra (Ver Anexo 1) donde el 88% de los emprendedores encuestados declaró tener al menos un socio con formación en algún tipo de ingeniería. Dado este contexto la labor de la ingeniería como proveedora de herramientas para materializar las ideas del emprendedor resulta vital para el desarrollo efectivo de StartUps innovadores.

Los ingenieros en la simulación se encuentran dotados con una capacidad distintiva denominada – capacidad ingenieril – que representa el grado de conocimiento técnico y herramientas que posee el agente para materializar la idea de emprendedor. De la misma manera que con los agentes emprendedores, se integró un mecanismo que simula las asimetrías de

conocimiento en los ingenieros tomando también un sistema de distribución paretiana para las asignaciones de capacidades, donde pocos ingenieros poseen el total de habilidades y conocimiento, y una mayoría cuenta con algunas pocas. Los atributos de coeficiente de ajuste y capital de inversión operan de la misma manera y con las mismas proporciones e intervalos como fueron descritas para los agentes emprendedores, dejando como única diferencia la capacidad ingenieril. Estos agentes, también del tipo tortuga, interactúan con los emprendedores en un momento posterior de la simulación en el marco de un tipo de colectividades denominadas StartUps los cuales se describirán en una sección posterior.

#### ***5.1.1.3. Híbridos.***

Esta tercera categoría de agente se construyó partiendo de la reflexión sobre los perfiles profesionales de los emprendedores identificados en la encuesta aplicada a Wayra (ver anexo 1), junto con el análisis del informe descriptivo sobre el ecosistema de emprendimiento de base tecnológica (Goodwin et al., 2014) donde se describen la mayor parte de sus actores. Como conclusión, se observa que en Wayra un 31.4% de los emprendedores posee un doble perfil, es decir que además de contar con las competencias para identificar oportunidades en el mercado y materializarlas a la manera de StartUps, también poseen una formación profesional en ingeniería que les permite instrumentar soluciones para el desarrollo de las mismas. A partir de esta información se realizó la calibración de población disponible en el modelo, la cual se ajusta según el parámetro manual denominado – total\_poblacion – ajustando un 32% a la población de híbridos y el 68% restante distribuido en proporciones iguales para los otros dos tipos de actores resenñados previamente.

En este escenario, surge la necesidad de integrar un tercer tipo de agente que incluya ambas capacidades, (i) la capacidad de emprender, y al mismo tiempo (ii) la capacidad ingenieril, descritas anteriormente. Este agente tipo tortuga denominado – Híbrido –, replica sistemáticamente los mecanismos de asignación de capacidades emprendedoras e ingenieriles de los agentes emprendedores e ingenieros. Respecto de la cantidad de agentes de este tipo, en la primera versión del modelo se desarrolló un mecanismo donde la población de híbridos correspondía con una proporción menor de la población total de tortugas, no obstante, con el propósito calibrar el modelo con las características propias del ecosistema de emprendimiento, la población total de híbridos corresponde con el porcentaje de emprendedores con doble tipo de formación identificados en la encuesta a Wayra.

#### ***5.1.1.4. Emprendimientos o StartUps.***

Este último tipo de agente resulta diferente a los tres anteriormente descritos al emerger como resultado de las interacciones de los agentes durante la simulación y no en la configuración inicial del modelo. El análisis de la encuesta aplicada a los StartUps en Wayra evidenció que el 100% de las firmas posee más de un socio y a su vez el 71,43% posee entre 2 y 3 socios fundadores (Ver Anexo 1) lo cual se alinea con las reflexiones del informe GEM - Global Entrepreneurship Monitor Colombia (Pereira et al., 2012) respecto de las condiciones de asociatividad y trabajo en equipo propias de cualquier emprendimiento. Dada la importancia de este factor en la construcción de StartUps, se integró un parámetro manual denominado – tamaño\_max\_emprendimiento – el cual inicia su contador en 2 garantizando que la posibilidad de StartUps en solitario sea descartada en el desarrollo de cualquier simulación, para lo cual si un emprendedor, un ingeniero o un híbrido no se encuentra asociado con al menos otro agente no podrá iniciar a desarrollar productos o servicios y por ende a innovar.

En el modelo estas colectividades son denominadas – emprendimientos o StartUps –, para utilizar el lenguaje de los ecosistemas en referencia. Su creación inicia con la necesidad de los agentes por crear un StartUps, viéndose afectada por dos factores: (i) la distribución geográfica de los agentes y (ii) el coeficiente de ajuste mencionado previamente. Respecto de la distribución geográfica, los tres tipos de agentes tortuga son dispersados de manera aleatoria en el total de espacio de simulación en las cantidades estipuladas desde la configuración inicial del modelo, la posición de cada agente es determinante para la selección de socios, así una mayor cercanía entre agentes brinda una mayor probabilidad de asociación que disminuye proporcionalmente a la distancia entre los mismos; esta característica representa las asimetrías propias de la construcción de redes de contactos, pues en un contexto de mercado la racionalidad limitada por factores como el acceso a información y la capacidad de procesamiento de la misma hacen que ningún individuo pueda conocer el total de la población vinculada directa o indirectamente a un entorno.

La primera acción que desarrollan los agentes en el modelo es iniciar la búsqueda de socios, esta puede ser en dos vías: (i) buscando un primer socio que se encuentre solo, o (ii) vinculándose a un StartUp ya conformado, para ello cada agente se desplaza de su posición inicial hacia nuevas posiciones aleatorias en el espacio de simulación, su movimiento termina por hacerlo topár con uno o varios de los otros agentes disponibles. Una vez se encuentra con otro agente inician un proceso de validación de la posible sociedad que se define por el grado de similitud entre los coeficientes de ajuste de cada agente como se describió anteriormente; Así, un mayor porcentaje de afinidad configurado en los parámetros del modelo, hace más estricto el proceso de búsqueda de socio y viceversa, afectando aspectos como la eficiencia de la simulación respecto del tiempo

que los emprendedores toman en encontrar un socio que se ajuste a sus expectativas. Si la validación es positiva los agentes se juntan formando un emprendimiento, si no hay validación, los agentes continúan explorando el espacio hasta encontrar una opción afín de agrupamiento.

Una vez se han asociado los dos primeros agentes se generan la primera regla básica de la colectividad que corresponde al mínimo número esperado de socios para el emprendimiento, este valor es determinado desde la configuración del modelo, con un límite superior correspondiente a 7, el cual se estableció a partir del número máximo de socios que reportaron los StartUps de Wayra en la encuesta desarrollada (Ver Anexo 1). Cuando el número de socios de un emprendimiento es mayor a 2, la colectividad deja abierta la opción para vinculación de socios, a todos aquellos agentes que en su desplazamiento por el espacio de simulación se encuentren con esta, cuando esto sucede, la colectividad el ingreso o no del socio potencial en función del nivel de afinidad que este tenga con el emprendimiento, a partir de la media de coeficientes de ajuste de cada colectividad en comparación con el socio potencial. Para evitar que uno de los grupos se quede indefinidamente explorando el espacio del modelo en la búsqueda de un socio con un coeficiente similar, cada colectividad cuenta con un contador máximo de espera que define la cantidad máxima de días que un grupo puede esperar completar el número esperado de integrantes, de superar ese periodo de tiempo los emprendimientos optan por pasar a la siguiente etapa que corresponde a la construcción de los productos o servicios.

Respecto de los atributos y capacidades, los StartUps ostentan el mismo arreglo descrito para los agentes persona (emprendedores, ingenieros y híbridos) pero distribuido de dos maneras diferentes. Para el caso del atributo de coeficiente de ajuste, al ser esta característica de relación

con el entorno, se calcula una media de atributos entre los miembros de cada emprendimiento y así se logra un coeficiente de ajuste medio y conocimiento del mercado medio para cada colectividad. Para el caso del conocimiento del mercado, la capacidad de emprender y la capacidad ingenieril, al ser características de relación interna con la colectividad su cálculo se da por agregación, es decir que la capacidad ingenieril de un emprendimiento es la sumatoria de las capacidades del total de los ingenieros e híbridos que pertenecen a cada emprendimiento, surtiendo el mismo proceso con la capacidad de emprendimiento. Para el caso del capital de inversión, a pesar de no ser una capacidad opera de la misma manera que las capacidades, cada emprendimiento tiene una bolsa de recursos para invertir que resulta de la suma de los aportes de cada uno de los miembros de la colectividad, esto dado que cada agente de manera individual no aporta el total de su capital de inversión propio.

En el caso en que los emprendimiento no sean exitosos en su proceso de construcción de productos o servicios y la bolsa de capital de inversión se agote, los emprendedores toman la decisión de diluir la colectividad, con esta decisión los agentes son eliminados del espacio de simulación mientras automáticamente son creados nuevos agentes con un nuevo arreglo de atributos, en la misma proporción de los eliminados, los cuales inician un nuevo proceso de asociación y generación de productos y servicios. Esta última etapa completa el ciclo de acción y ejecución del modelo el cual itera como una constante en relación con el total del tiempo de simulación definido.

#### ***5.1.1.5. Centros o unidades de Emprendimiento.***

Los centros o unidades de emprendimiento son estructuras descritas por Guerrero & García, (2013); Quiroga et al. (2014) y The Breakthrough, (2012) como vitales para el ecosistema de

emprendimiento de Colombia. Si bien los roles de estas unidades pueden variar desde la idea de negocio hasta la consolidación del mismo, tal como se evidenció en la Figura 3.1 el propósito fundamental de cualquier centro de esta naturaleza se enfoca en la agregación de eficiencia y la reducción de los costos de transacción para el logro de un emprendimiento exitoso.

Aun cuando un emprendedor o equipo de emprendedores pueda avanzar en el camino hacia la consolidación de su negocio sin la participación o asistencia de un tercero, el costo de desarrollar la curva de aprendizaje necesaria (acceso a redes de negocio, profesionales expertos en ramos de negocio, fondos de arranque e inversión, capacitaciones, información estadística del mercado, contactos con potencial de compra, entre otros) tiene un efecto directo en el tiempo de consolidación del mínimo producto viable (Lenarduzzi & Taibi, 2016), por tal razón los emprendedores optan vincularse este tipo de centros o unidades no solo por el apoyo económico, sino también por el empuje o aceleración que estas proveen a sus negocios.

Para efectos del modelo, los centros de emprendimiento fueron diseñados como una representación de la estructura y procesos de Wayra, la cual, por sus características resulta ser un buen ejemplo de organización estandarizada para la aceleración de StartUps. Wayra es una iniciativa del grupo telefónica creada en el marco de su red de emprendedores – Open Future<sup>13</sup> – con sedes en 12 países del mundo y más de 1.400 StartUps apoyados en América latina y Europa (Telefónica S.A., 2015). Se enfoca en procesos de aceleración que van desde la conceptualización de ideas, valoración de modelos de negocio, hasta rondas finales de financiación para el

---

<sup>13</sup> Open Future es el nombre que el grupo Telefonica de España ha dado a su red de emprendimiento global integrada por dos actores (i) Wayra y (ii) Croudworking, su objetivo principal es apoyar el fomento y el desarrollo de talento en emprendimiento tecnológico-digital. Recuperado de: <https://www.openfuture.org/es/info/about>

crecimiento internacional de las firmas (Dinero, 2015). Además de proveer un financiamiento de hasta 50 mil dólares a los proyectos seleccionados, Wayra provee espacios físicos de trabajo, acceso a una red global de socios de negocio, mentores y expertos (wayra.co, 2015).

En el espacio de simulación, los centros de emprendimiento replican parte de la operación y estructura de Wayra proporcionando dos beneficios a los StartUps: (i) acelerar el proceso de generación del mínimo producto viable y (ii) invertir dinero en cada StartUps como capital de riesgo; los detalles sobre la vinculación a los centros y uso de capital de inversión serán presentados en secciones posteriores. La aceleración se expresa como el aumento en la velocidad de acceso a recursos económicos, financieros e intelectuales que puede proveer un centro de emprendimiento.

Respecto de la posición geográfica cada uno de estos agentes se ubica de manera aleatoria a través del espacio de simulación, teniendo un efecto sobre los emprendedores, ingenieros o híbridos en la oportunidad de vincularse al centro, esto, buscando representar las condiciones de conectividad e información propias de la sociedad del conocimiento (Castells, 1999), donde el acceso a estos recursos también tiene que ver con la cercanía de los actores. Cada centro cuenta con un atributo de capacidad, que representa la cantidad máxima de StartUps que este puede atender y financiar al mismo tiempo, dado que los recursos en este tipo de organizaciones son soportados por presupuestos de entes públicos y/o privados. Dada la importancia del tamaño y capital de inversión de los centros de emprendimiento en la cobertura de la población de StartUps del ecosistema se integraron dos parámetros manuales denominados (i) – tamaño\_max\_ce –, y (ii) – tamaño\_max\_ce – los cuales permite ampliar o disminuir el rango medio de capacidad de los centros de emprendimiento en una simulación. Esta combinación de parámetros permite estudiar

la influencia y efectos de los centros de emprendimiento en el ecosistema, el cual resulta uno de los aspectos relevantes de estudio en esta investigación.

Al mismo tiempo cada centro de emprendimiento cuenta con un criterio de selectividad en los StartUps, que representa las políticas de vinculación que estructuras como Wayra desarrollan a través de sus procesos de atracción de firmas. Así, en una convocatoria anual de alrededor de 500 propuestas, Wayra selecciona solo 10 StartUps por su potencial y posibilidad de crecimiento en los mercados regionales (Dinero, 2015). Dado que en el ecosistema existen también centros de emprendimiento más incluyentes, gracias a su financiación pública, cada agente centro de emprendimiento en la simulación cuenta con un nivel aleatorio de selectividad de emprendimiento vinculado a los atributos de capacidad emprendedora e ingenieril de los agentes. Así, para unos casos todos los StartUps son admitidos en algunos centros y para otros solo aquellos con mejores perfiles pueden ingresar.

Respecto del entorno del modelo, las condiciones de incertidumbre ante el lanzamiento de un nuevo producto o servicio al mercado fueron recreadas valiéndose de la metáfora del juego de bingo, que corresponde estructuralmente con este fin. En este juego el apostador invierte X monto de dinero comprando un cartón de bingo el cual contiene una sucesión números, un periodo de juego y un paquete de premios, una mayor inversión en cartones tiene un efecto positivo en la probabilidad de ganar el juego sin eliminar la posibilidad que otros compradores puedan ganarla también, en ocasiones con una menor inversión. La racionalidad del apostador es siempre obtener el mejor premio posible, y cada una de las decisiones que toma, e.g. la cantidad de cartones a comprar, los números en cada cartón, los periodos de juego de los cartones que compra, entre

otros, gira en torno de este propósito, durante el periodo de juego el apostador compite con otros actores por el premio mayor, los cuales también tienen la misma racionalidad; la mezcla entre el azar y la mejor combinación de decisiones terminan por dejar un ganador.

El día que el bingo juega, un sistema de selección de números extrae uno cualquiera dentro de una distribución gaussiana de valores el cual representa la combinación ganadora, si esta corresponde con los números en el cartón del apostador obtiene el premio mayor, de lo contrario, existe un paquete de premios menores proporcional a la cantidad de números acertados que disminuye progresivamente hasta que el premio sea cero; existen tantas distribuciones gaussianas y números en la simulación, como juegos de bingo disponibles, para lo cual cada apostador puede escoger entre diferentes opciones de apuesta. Cabe anotar que el apostador no conoce de manera anticipada los números ganadores, las decisiones de los demás apostadores, y el efecto de sus decisiones sobre el juego, teniendo como único instrumento de anticipación, la experiencia, el conocimiento del juego y su dinámica y en algunos casos información estadística de juegos anteriores que arroja tendencias sobre posibles resultados de juego. Una vez hay un ganador, el juego no termina, así como tampoco se elimina el apostador de la partida, quien puede decidir continuar jugando en futuras ronda, esta vez contando con el premio ya ganado. Sin embargo, el acto de ganar un premio tiene efectos sobre el juego, desplazando la media de la distribución gaussiana y modificando el número que representa la combinación ganadora, así si el jugador intenta ganar de nuevo con el mismo número, la probabilidad de éxito se reduce considerablemente.

#### *5.1.1.5.1. Vector de éxito.*

En un contexto económico, autores como Eisenhardt, (1989) identifican la racionalidad del inversionista como la maximización de la función de utilidad, es decir que todo actor dispuesto a arriesgar un capital (en por ejemplo un negocio) tiene como propósito último obtener el mejor beneficio económico posible; en un contexto empresarial la noción de maximización en la función de utilidad opera de la misma manera, donde el empresario toma decisiones asociadas a distribución de recursos y desarrolla estrategias para el logro de desempeños económicos superiores en la organización (Porter, 1985). En la misma vía, el emprendedor concibe su emprendimiento como un costo de oportunidad, sobre el cual invierte recursos en la espera de obtener en el tiempo el mejor retorno posible sobre su inversión (Timmons & Spinelli, 2012).

Sin embargo, tanto el emprendedor, como el empresario y el inversionista con dificultad logran obtener para todos los casos el máximo de utilidad posible sobre sus inversiones; de hecho, tal y como lo evidencian Baum & McKelvey, (2006) en un contexto de mercado solo un reducido número de inversionistas logra los mejores desempeños en relación con los recursos invertidos, mientras un grupo mayor apenas sobrevive o debe retirarse del mercado, reflejando un comportamiento a la manera de una ley de potencia. Esta situación se explica entre otras razones por las condiciones de incertidumbre, complejidad e información imperfecta del entorno (Caldart & Ricart, 2006) de la organización, haciendo imposible anticipar el estado futuro de las decisiones tomadas por el emprendedor. En este escenario el emprendedor asume el riesgo de perder el capital por la oportunidad de obtener una utilidad superior sobre su inversión, para atenuar el riesgo el emprendedor vincula recursos que van desde la simple intuición y la experiencia hasta herramientas más sofisticadas para la predicción y análisis de entorno.

El modelo incorpora las condiciones de entorno anteriormente descritas a partir de un atributo denominado en el modelo como *vector de éxito* para representa un mercado cualquiera. Este atributo opera como un número aleatorio desconocido para todos los agentes del modelo recreando la metáfora de la combinación ganadora en los números del bingo; este vector es además discontinuo en el espacio de simulación, es decir que varía de manera aleatoria después de cierto número de ticks y al mismo tiempo varía de manera aleatoria el número de ticks definidos para cada variación, a fin de simular las condiciones de incertidumbre y discontinuidad (Foster, 1986) que enfrenta cualquier emprendimiento al introducir y mejorar productos o servicios en relación con las necesidades del mercado.

Una vez el modelo ha asignado un vector de éxito, este adiciona un valor de premio o utilidad que representa la inversión que el emprendimiento realiza en el desarrollo y lanzamiento de sus productos o servicios; tanto el premio como el costo de innovar son valores que se modifican una vez el ciclo de un vector de éxito ha terminado y es reemplazado por otro, agregando mayor incertidumbre al modelo. Respecto del premio, corresponde a la suma de dinero máxima que puede ganar un emprendimiento al acertar el número del vector de éxito, dada la dificultad para lograr esto, el modelo contiene un mecanismo que entrega a los StartUps con aciertos cercanos una proporción del premio igual a la inversa de la diferencia porcentual entre el número construido por los StartUps y el vector.

En el entorno del modelo, el vector representa dos supuestos fundamentales: (i) el mínimo producto viable - óptimo, y (ii) la mejor innovación radical posible. El proceso de emprendimiento de un negocio inicia en la mayoría de los casos con la identificación de una oportunidad en el

mercado, la cual progresivamente se transforma en producto o servicio (Timmons & Spinelli, 2012). La responsabilidad del emprendedor es desplegar el conjunto de competencias propias y capacidades que ha apropiado del entorno a fin de configurar la mejor versión posible de producto o servicio en relación con las necesidades y oportunidades del mercado, esto es a lo que se le conoce como mínimo producto viable (Lenarduzzi & Taibi, 2016)

No obstante las condiciones de incertidumbre en el entorno, e.g. variaciones en gustos y necesidades del cliente, emergencia de productos sustitutos, introducción de políticas y reglamentaciones legales, entre otras, hacen que el emprendedor no disponga del total de información posible para la configuración de un producto o servicio óptimo, para lo cual la versión del mínimo producto viable del emprendimiento será una aproximación lo más cercana posible a la óptima, de que tanto este producto o servicio se acerque a las necesidades del cliente dependerá el éxito del mismo en el mercado. En esta vía el vector representa la combinación óptima entre números y operadores, es decir el producto o servicio ideal que todo cliente quisiera tener.

Respecto del segundo supuesto, como se expuso a través del marco teórico, para efectos de esta investigación, la innovación es entendida como un proceso de transformación que genera un cambio significativo en una estructura y su entorno, es decir que se evidencia un grado de transiliencia (Abernathy & Clark, 1985) generado por el impacto de una novedad en un contexto. En el ámbito empresarial, las innovaciones emergen como resultado de transformaciones tanto en la oferta como en la demanda de productos tangibles e intangibles; para el caso de la oferta las transformaciones se evidencian a partir de la variación en el desempeño económico de una compañía en relación con una producto o servicio novedoso que hubiese lanzado al mercado, es

decir que una vez introducido el producto o servicio novedoso en el mercado, este trae a la empresa desempeños económicos superiores derivados de la comercialización del mismo.

En la demanda, las transformaciones son observables en relación con el contexto, particularmente con modificaciones a la estructura social, un producto o servicio novedoso puede ser considerado como innovación cuando el mercado surte cambios en aspectos como el proceso habitual de compra, el uso y consumo de productos y servicios, los hábitos de vida y consumo y las necesidades del cliente, entre otros. En el modelo, el vector representa la innovación ideal, una combinación de atributos óptima que todo emprendimiento quisiera tener en relación con las necesidades del cliente, de ahí que aquel grupo de agentes que acierte al vector obtienen el mayor beneficio económico. Durante la simulación, los agentes construyen sus propios números, representando su versión de producto o servicio innovador, dada la dificultad para acertar el número, de que tan próximo se encuentre el número construido a este será el premio asignado.

Para representar la transformación del mercado, los productos o números que acierten o estén bastante cerca del vector, tienen la capacidad de afectar el vector desplazándolo a una nueva posición donde a partir de una regla aleatoria de variación, puede modificarse el valor del vector en mayor o menor cuantía, es decir que para algunos casos el nuevo valor puede ser similar al anterior y en otros ser significativamente distinto, simulando las condiciones de transformación gradual y extrema de los mercados una vez alguna innovación ha impactado y penetrado un mercado.

#### *5.1.1.5.2. Condiciones para exaptar.*

Como se discutió previamente en el marco teórico respecto de las exaptaciones, estas emergen bajo dos posibles mecanismos, uno relacionado con las adaptaciones generadas para una función, y que como efecto resultan útiles para una función diferente, y la otra derivado de un proceso de acumulación de noaptaciones que al ser cooptadas asumirán una función no establecida (Gould & Vrba, 1982). En relación con el primer mecanismo de exaptación, la selección de mercados y desarrollo de números (o productos y servicios) por parte de los StartUps en el modelo corresponde con el mecanismo de adaptación para una función específica que desarrollan las especies, la alternativa de exaptación emerge de la posibilidad que tiene todo emprendimiento de saltar hacia su adyacente posible (Kauffman, 1996), así, dado el conocimiento de mercado que cada emprendimiento posee puede este valorar otros mercados en paralelo, identificar una mayor probabilidad de éxito y decidir lanzar el producto en otro mercado; de ser exitoso en este lanzamiento, es identificado como una exaptación.

Respecto del segundo mecanismo de exaptación, una vez los StartUps lanzan un número o producto al mercado, este puede no ser exitoso dada la dificultad para acertar en el número correcto como se describió previamente. Los productos no exitosos son archivados en una memoria que posee cada emprendimiento representando la acumulación de diversidad o – pools of diversity – descritos por (Gould & Vrba, 1982). De la misma manera que con los sistemas vivos, en el momento en que un emprendimiento se ve expuesto a una situación de criticidad (Solé & Goodwin, 2002), es decir en el momento en el que este ve comprometida su sostenibilidad en el mundo dada la continua pérdida de dinero al no acertar ningún número, toma la decisión de seleccionar aleatoriamente uno de los números o productos que tiene almacenados y lo lanza en alguno de los mercados que conoce o que representa su adyacente posible (Kauffman, 1996), De acertar el

número y recibir el premio en dinero para el emprendimiento, además de permitir la continuidad del mismo en la simulación este resultado se identifica como una exaptación.

El conjunto de StartUps que no logren ser exitosos en sus exaptaciones continúa con el proceso normal de lanzamiento de productos hasta gastar el total de dinero disponible, y posteriormente ser eliminados de la simulación como se describió previamente.

## **5.2. Protocolo de descripción del modelo**

Con el objetivo de realizar una presentación estandarizada del modelo, se propone su desarrollo a partir de una herramienta de un protocolo o estructura normalizada, que en el contexto de la simulación basada en agentes permita expresar la formulación de los modelos de manera rigurosa y facilite sus revisiones y comparaciones entre otros modelos (LSDS, 2011). Este protocolo denominado – Overview, Design concept, Details – ODD por sus siglas en inglés, se construyó a partir de la revisión de más de 50 publicaciones en el ámbito de la simulación basada en agentes (Grimm et al., 2006), fue actualizado en 2010 por Grimm et al. (2010) y hoy en día se constituye como una de las herramientas de mayor uso en lo que a reporte de modelos basados en agentes respecta (Amouroux, Gaudou, Desvaux, & Drogoul, 2010; Garza, Castillo, & Valdez, 2010; Groeneveld et al., 2012; F. Hinkelmann & Murrugarra, 2011; F. Hinkelmann, Murrugarra, Jarrah, & Laubenbacher, 2011; Müller et al., 2013; Polhill, Parker, Brown, & Grimm, 2008; Sahrbacher, Sahrbacher, & Balmann, 2014; Schreinemachers & Berger, 2011; Xiao, Ligteringen, Van Gulijk, & Ale, 2013).

Para efectos de este documento tomaremos como referente este protocolo, junto con la plantilla desarrollada por el – laboratory of SocioDynamics Simulation – (LSDS, 2011). El protocolo consta

de tres bloques o categorías de información (Figura 5.2) correspondiente a los tres aspectos definidos en el título de protocolo, la primera sección presenta una perspectiva general del modelo y su justificación, la segunda profundiza en los aspectos asociados al diseño del modelo y por último la sección final se enfoca en profundizar en detalles. A continuación el desarrollo de protocolo. Cabe anotar que la intención de generalidad del protocolo procura darle cobertura al total de modelos desarrollados, no obstante la particularidad en el tipo de modelo hace que algunos de los componentes del protocolo puedan ser desarrollados con mayor o menor extensión y en algunos casos se omitan componentes. Para el caso del modelo en cuestión fueron omitidos los componentes de (i) Predicción, (ii) Percepción, (iii) Colectivos, (iv) Observación y (v) datos de entrada, dadas las características del modelo.

<b>O - Overview</b>	Propósito
	Entidades, Variables de estado y escalas
	Perspectiva de proceso y programación
<b>D - Design Concepts</b>	Principios fundamentales
	Emergencia
	Adaptación
	Objetivos
	Aprendizaje
	Predicción
	Percepción
	Interacción
	Aleatoriedad
	Colectivos
Observación	
<b>D - Details</b>	Inicialización
	Datos de entrada
	Submodelos

*Figura 5.2. Elementos del protocolo ODD*  
Fuente: Adaptado de Grimm et al. (2010)

### **5.3. Descripción normalizada del modelo de simulación de proceso innovador para ecosistemas de emprendimiento**

A continuación se desarrolla la descripción del modelo a partir del despliegue elementos presentados en la sección anterior. Dado que el protocolo ODD es una herramienta de propósito general, es decir busca dar cobertura todos los lenguajes, modelo y problemas de investigación posibles, no todos los elementos constitutivos de este necesariamente deben ser considerados en la descripción de un modelo. Para el caso, un número menor de elementos son omitidos dado que su naturaleza no ajusta dentro de los elementos estructurales del modelo.

#### **5.3.1. Propósito.**

El propósito de este modelo se orienta a contribuir con la consolidación de aparato teórico y explicativo del proceso innovador en las organizaciones, teniendo como objetivo principal explicar cómo las interacciones entre las poblaciones de actores que integran los ecosistemas de emprendimiento generan innovaciones a la manera de macro regularidades. Para ello se construyó un modelo bio-inspirado (Floreano & Mattiussi, 2008) que toma como referente el proceso de exaptación (Gould & Vrba, 1982) de las especies equiparándolo a un mecanismo de emergencia de innovaciones en el contexto de las organizaciones. A fin de contextualizar el modelo y fortalecer sus cualidades explicativas, se tomó como referente de diseño, los denominados ecosistemas de emprendimiento (Goodwin et al., 2014; Guerrero & García, 2013; Quiroga et al., 2014) caracterizando tres de sus actores (i) los emprendedores (ii) los emprendimientos o StartUps y (iii) los centros de emprendimiento.

La motivación para tomar como referente el ecosistema de emprendimiento proviene de la relación existente entre emprendimiento e innovación (Pereira et al., 2012) y sus efectos en el

desempeño económico de los nuevos negocios. Así el modelo parte de supuesto que las innovaciones tienen efectos positivos en el desempeño económico de las organizaciones (Van de Ven & Poole, 2004) y que estos efectos son posible de observar con mayor precisión en nuevos negocios donde factores como la inercia del mercado, el posicionamiento competitivo y la gestión financiera del negocio no necesariamente influyen en el desempeño económico del negocio.

### **5.3.2. Entidades, Variables de estado y escalas.**

Para el desarrollo de esta sección, se alinearon los requerimientos del protocolo, junto con los elementos y parámetros del software Netlogo 6.0, lo que llevó a la construcción de tres subniveles de despliegue (i) Agentes, (ii) Ambiente, y (iii) Colectividades, los cuales se presentan en detalle a continuación.

#### **5.3.2.1. Agentes.**

- *Personas*: son las entidades que poseen diferentes conocimientos las cuales se relacionan unas con otras con el fin de formar StartUps y lanzar productos al mercado esperando obtener alguna recompensa económica. Las personas están divididas en tres tipos dependiendo del conocimiento que posean. A continuación se describe en el primer nivel de desagregación, cada uno de estos tipos de personas, y en el segundo sus principales características y/o atributos:
  - *Emprendedores*: los actores denominados emprendedores son identificados para el caso como los portadores de ideas con valor para el mercado y potencial de innovación (H. J. Gómez & Mitchell, 2014). Su atributo principal es el conocimiento emprendedor.

- ✓ *Conocimiento emprendedor*: se representa a través de un vector que contiene números entre el 0 y el 9. La longitud del vector varia, simulando así la asimetría de conocimiento entre emprendedores. Para esto se utilizó una distribución paretiana como sugiere McKelvey & Andriani, (2005) la cual es la distribución natural de los sistemas organizacionales complejos. En la distribución paretiana la concentración de los atributos es inversamente proporcional al volumen de población, así, del total de emprendedores del modelo, la mayor cantidad tendrá capacidad de emprender entre 3 y 4 y un número muy reducido de ellos entre 9 y 10.
  
- *Ingenieros*: los actores denominados ingenieros son identificados como portadores de soluciones capaces de transformar ideas en productos para ser lanzados al mercado. La necesidad de representar en el modelo otro tipo de agentes además de los emprendedores emerge de tres fuentes de información: (i) las reflexiones de Goodwin et al. (2014) entre otros, respecto de la importancia de las capacidades técnicas e ingenieriles para el desarrollo de StartUps innovadores tanto en la categoría de base tecnológica como en sociales e industriales, (ii) el alto volumen de emprendimiento de alto impacto que sustentan su innovación en un componente tecnológico e ingenieril (Ismael et al., 2014) y por último los resultados de las encuestas aplicadas en Wayra (ver anexo 1) donde el 88% de los emprendedores encuestados declaró tener al

menos un socio con formación en algún tipo de ingeniería. Para todos los ingenieros, su característica principal es el conocimiento ingenieril.

✓ *Conocimiento ingenieril*: se representa a través de un vector que contiene diferentes operadores matemáticos ( + - \* / ) que simulan la capacidad de transformación del conocimiento en productos. Al igual que para los emprendedores, la cantidad de operaciones matemáticas que conocen está dada por una distribución paretiana.

➤ *Híbridos*: estos representan un tipo especial de actor que posee tanto ideas con valor para el mercado como la capacidad de transformar estas en productos. Puede decirse que es una entidad que posee la capacidad de un ingeniero y un emprendedor al tiempo. Esta tercera categoría de agente se construyó a partir de la reflexión sobre los perfiles profesionales de los emprendedores identificados en la encuesta aplicada a Wayra (ver anexo 1) y el análisis del informe descriptivo sobre el ecosistema de emprendimiento de base tecnológica (Goodwin et al., 2014) donde se describen la mayor parte de sus actores. Como conclusión, se observa que en Wayra un 31.4% de los emprendedores posee un doble perfil. Dado que los híbridos tienen capacidades emprendedoras e ingenieriles, posee entonces los atributos de conocimiento ingenieril y conocimiento emprendedor.

Independiente del tipo de agente – persona – (Emprendedor, Ingeniero o Híbrido), existen una serie de atributos<sup>14</sup> comunes que al combinarse determinan el estado actual de cada uno de estos actores dentro del modelo. Es decir que aun cuando el tipo de atributo sea igual, cada agente posee un valor diferente del mismo, lo que incrementa la heterogeneidad de los agentes disponibles en la simulación. Estos atributos son dinero, afinidad y conocimiento y son descritos a continuación:

- *Dinero*: cantidad inicial de dinero con que cuentan las personas para invertir al momento de formar un emprendimiento.
  - *Afinidad*: es una característica esencial para el desarrollo de colectividades durante la simulación que se construye de manera tácita al comparar el conocimiento de dos agentes que busca hacer o pertenecer a una colectividad. Así, si los requerimientos de afinidad en la simulación son altos, los agentes solo se asocian con agentes de características similares y viceversa.
  - *Conocimiento de los mercados*: Es un vector que indica a cuál de los mercados se encuentra enfocado el individuo, si bien no conoce el número ganador del mercado si tiene una especialidad y un objetivo.
- 
- *Centros de emprendimiento*: Los centros o unidades de emprendimiento son estructuras descritas por Guerrero & García, (2013); Quiroga et al. (2014) y The Breakthrough, (2012) como vitales para el ecosistema de emprendimiento de Colombia. El propósito

---

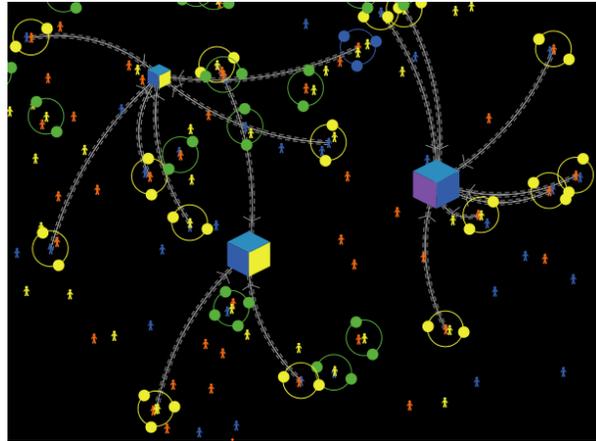
<sup>14</sup> En concordancia con las consideraciones de Wilensky & Rand (2015) respecto del diseño de modelos basados en agentes en la plataforma Netlogo, los agentes contienen variables las cuales son consideradas en el lenguaje de programación como lugares de almacenamiento de valores, estas variables representan en el caso de los agentes en el modelo las características individuales con las que cada uno cuenta, las cuales al mismo tiempo resultan determinantes.

fundamental de cualquier centro de esta naturaleza se enfoca en la agregación de eficiencia y la reducción de los costos de transacción para el logro de un emprendimiento exitoso. Los atributos de estos agentes para el modelo son presupuesto, capacidad, tiempo de ayuda, tipo de ayuda y radio de acción, los cuales son descritos a continuación:

- *Presupuesto:* cantidad de dinero que le aportan a los StartUps que se unen al centro.
- *Capacidad:* número de máximo de StartUps que el centro puede atender al mismo tiempo.
- *Tiempo de ayuda:* cantidad de días que el centro de emprendimiento apoya a cada emprendimiento.
- *Tipo de ayuda:* es la información que provee el centro de emprendimiento. Puede ser solo información sobre la pertinencia del producto en diferentes mercados (exaptación), solo información para direccionar el producto actual del emprendimiento en el mercado objetivo (reducción de ruido) o ambos.
- *Radio de acción:* Indica cual es el radio del área de impacto del centro de emprendimiento sobre los emprendimientos que se ubican a su alrededor.

Para cumplir con la función de proveer recursos e información, el centro de emprendimiento crea un link con el emprendimiento durante un tiempo variable. La Figura 5.3 presenta una imagen del espacio de simulación integrando el total de entidades mencionadas previamente. Los emprendedores, ingenieros e híbridos son las

personas de color verde naranja y amarillo, los StartUps se representan por los círculos de colores verde y amarillo, los centros de emprendimiento son los cubos de colores, y las líneas de vínculo representan la relación existente entre centros de emprendimiento y StartUps.



*Figura 5.3. Imagen del espacio de simulación*  
*Fuente: Elaboración propia*

### **5.3.2.2. Ambiente.**

Respecto al ambiente del modelo, su diseño busca representar los atributos de dinámica, indeterminación y discontinuidad propios de cualquier entorno de negocio. Como lo evidencian Baum & McKelvey (2006) en un contexto de mercado solo un reducido número de inversionistas logra los mejores desempeños en relación con los recursos invertidos, mientras un grupo mayor apenas sobrevive o debe retirarse del mercado, reflejando un comportamiento a la manera de una ley de potencia. Esta situación se explica entre otras razones por las condiciones de incertidumbre, complejidad e información imperfecta del entorno (Caldart & Ricart, 2006), haciendo imposible anticipar el estado futuro de las decisiones tomadas por el emprendedor. Para recrear este comportamiento, el modelo cuenta con una serie de mercados aleatorios a los que los StartUps

buscan entrar para obtener beneficios económicos. A continuación se hace una descripción detallada de la forma en la que funcionan los mercados propuestos.

- *Mercados:* la idea principal del modelo es que los StartUps sean capaces de generar números (productos) enfocados a algún mercado, la cercanía de este número al valor actual del mercado es el que determina si se efectuó o no una innovación y la recompensa económica que reciben las firmas que aciertan. En el modelo, estos mercados están representados por distribuciones de probabilidad normal que generan cada cierto periodo de tiempo un número objetivo. Los mercados tienen seis características importantes:
  - *Media:* valor esperado para la distribución normal. Se inicializa como un número aleatorio.
  - *Desviación:* desviación de la distribución normal del mercado. Se inicializa como un número aleatorio.
  - *Número:* representa el objetivo actual del mercado. Este es un número aleatorio generado siguiendo las distribuciones normales del mercado con la media y la desviación dadas. Este valor representa la mejor opción de producto que se puede generar.
  - *Costo:* dinero que deben gastar los StartUps por lanzar un producto a este mercado.
  - *Fecha de cambio:* periodo de tiempo establecido para que el número de este mercado cambie.
  - *Recompensa:* dinero que recibe a cambio el emprendimiento que acierte el número actual del mercado.

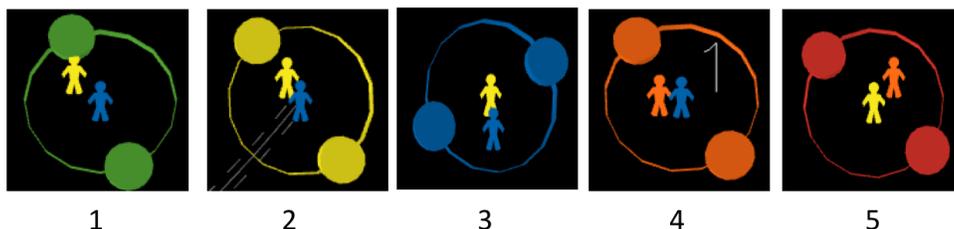
### ***5.3.2.3. Colectividades.***

La única colectividad presente en el modelo son los emprendimientos o StartUps. Estos están conformados por entidades con diferente tipo de conocimiento, ya sea en ingeniería o en emprendimiento. Estas colectividades se dan por la unión de mínimo 2 y máximo 7 agentes de tipo emprendedor, ingeniero o híbrido. Su fin es emular la conformación de un grupo de trabajo para lanzar productos al mercado y recibir alguna recompensa monetaria a cambio. Estas entidades son las encargadas de generar los números (producto) para lanzar en cada mercado y las que se relacionan con los centros de emprendimiento para recibir ayuda económica o de información. Los StartUps son las entidades principales del modelo dado que son los que generan la interacción persona-persona, persona-mercado y persona-centro de emprendimiento. Los atributos básicos de estas entidades se describen a continuación:

- *Id*: número de identificación del emprendimiento.
- *Dinero*: cantidad de dinero disponible para generar productos.
- *Producto*: número generado por los miembros de la empresa para lanzar al mercado.
- *Cupo*: máximo número de personas que pueden integrar la empresa.
- *Idea*: número objetivo que quisiera producir la empresa. Este número se determina por el conocimiento que tenga la empresa del mercado de acuerdo a las personas que la integran. Se genera de acuerdo a la media de conocimiento que tienen sobre el mercado objetivo.
- *Mercado objetivo*: mercado al que el emprendimiento va a lanzar el número.

- *Necesidad de ayuda:* atributo binario que indica si un emprendimiento está dispuesto a entrar a un centro de emprendimiento o no.
- *Personas:* conjunto de personas que conforman el emprendimiento.
- *Vector de productos generados:* Es un vector que almacena temporalmente todos los productos generados por el emprendimiento para ser usados en caso de cambiar de mercado usado en una de las formas de exaptación. Los emprendimientos almacenan un máximo de cuatro productos.

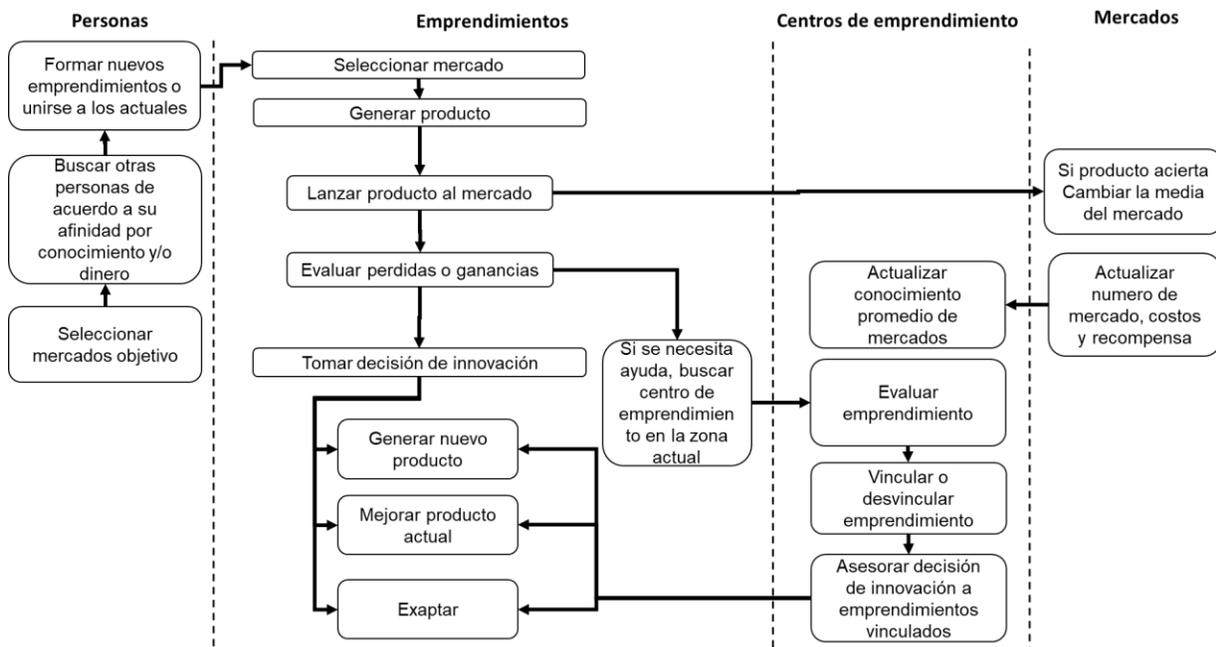
Adicional a los atributos descritos, los StartUps tienen cuatro estados que representan diferentes facetas por las que puede pasar (Ver figura 5.4), cada una es representada por un color diferente. La primera faceta se da cuando un emprendimiento se ha formado y está en proceso de crear productos sin contar con la ayuda de un centro de emprendimiento (verde). La segunda es cuando el emprendimiento está ligado a un centro que le provee información y recursos para mejorar su producto (amarillo). En tercer lugar, se encuentran los StartUps que están en proceso de elaborar productos y que en algún momento estuvieron ligados a un centro (azul) y finalmente, están los StartUps que tienen una curva de crecimiento de dinero con pendiente negativa y estar cercanos a entrar en pérdidas, es decir que de continuar con la tendencia van a desaparecer (rojo) y que por lanzar alguno de los productos generados anteriormente a algún mercado exaptaron y salieron de esa pendiente negativa (naranja).



**Figura 5.4. Sistema de identificación visual de los estados de un emprendimiento**  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3. Perspectiva de proceso y programación.

Durante cada día de simulación (que corresponde con un ciclo de simulación), las entidades deben ejecutar diferentes acciones en un orden determinado. El siguiente diagrama muestra los diferentes procesos que se ejecutan a cada paso de la simulación.



**Figura 5.5. Diagrama de flujo de proceso en el modelo**  
 Fuente: Elaboración propia

### 5.3.4. Principios fundamentales.

*Exaptaciones y Diversidad:* Tal y como se presentó a través del marco teórico dos de las dimensiones principales que suspenden el desarrollo de este modelo son la diversidad y las exaptaciones. Respecto de la diversidad se tomaron dos de las principales corrientes del concepto en el ámbito de la biología y una desde las ciencias de la complejidad para ser representadas en el

modelo. La primera corresponde a la perspectiva de diversidad de Whittaker (1972) entendida como la riqueza en los elementos integradores de un sistema; la segunda perspectiva adoptada es la de Nei (1973) en relación con la diferenciación o grado de asimetría de las diferentes especies de un ecosistema. Ambas aproximaciones describen la diversidad en relación con los actores de un ecosistema y no como un elemento del entorno, razón por la cual en la estructura del modelo la posibilidad de diversidad

La última aproximación, se fundamenta en la noción de diversidad presentada por Kauffman, (2003) la cual hace referencia al número de adyacentes posibles hacia los cuales un sistema puede desplazarse a fin de encontrar un nuevo estado más adaptativo. En este contexto, el conjunto de potenciales reacciones moleculares que un sistema autocatalítico puede desarrollar, es sumamente diverso, pero también finito (Kauffman, 1996). Son precisamente las posibles reacciones las que dan un límite a las alternativas, al excluir muchas de las formas que integran la biosfera, de no ser así, los sistemas cruzarían la transición de fase dirigiéndose hacia la extinción. En otras palabras, a pesar de la inmensa posibilidad de cambios en la biosfera, solo ciertos cambios pueden suceder, no obstante, la diversidad para el cambio es la condición necesaria para la transformación de sistema y su entorno.

### **5.3.5. Emergencia.**

Los patrones emergentes de interés en este caso son la distribución del dinero a medida que avanza la simulación, el comportamiento del desarrollo de innovaciones con y sin exaptación, la durabilidad de los StartUps basado en las innovaciones logradas y el comportamiento de los mejores StartUps.

### **5.3.6. Adaptación.**

El principal mecanismo de adaptación al cambio es el ya descrito dentro de los principios fundamentales del modelo, la exaptación. Este mecanismo es una respuesta a cambios en el ambiente de la simulación (los mercados), los cuales ocasionan que el producto ofrecido por un emprendimiento deje de ser rentable debido a que ya no es innovador para ese mercado. Las exaptaciones son entonces la forma en la que los StartUps tratan de adaptarse a los cambios intentando crear una innovación capaz de generar nuevamente utilidades.

### **5.3.7. Objetivos.**

- *De las Personas:* encontrar pares con atributos favorables para conformar un emprendimiento.
- *De los StartUps:* generar la mayor utilidad posible a través de la creación de productos innovadores.
- *De los Centros de emprendimiento:* apoyar la mayor cantidad posible de StartUps con el aporte de recursos y conocimiento de los mercados.

### **5.3.8. Aprendizaje.**

Los StartUps poseen una forma sencilla de aprendizaje. Este mecanismo funciona para la creación de productos, en la cual al lanzarse al mercado se obtiene retroalimentación en forma de utilidad. Si la utilidad es baja o negativa, es un indicador de que el producto actual se encuentra alejado del mejor producto posible de ese mercado. Con esa información los StartUps van ajustando en cada oportunidad su número evidenciando así una forma de aprendizaje de las condiciones del mercado objetivo.

### **5.3.9. Interacción.**

En el modelo existen dos formas de interacción. En la primera es una interacción directa entre los StartUps y los centros de emprendimiento. En esta relación el emprendimiento se beneficia de los recursos y el conocimiento aportado por el centro para la creación de mejores productos y la posibilidad de tener desempeños superiores. Esta relación tiene un tiempo de vida específico después del cual un emprendimiento no puede volver a estar conectado a ningún centro.

La segunda forma de interacción es indirecta entre los StartUps y se da a través de los mercados. En esta forma de interactuar, cuando un emprendimiento logra un número cercano al mejor producto posible, el mercado es desplazado de forma aleatoria, lo que causa una reacción de parte de los demás StartUps los cuales deben reajustar sus productos para adaptarse a estas nuevas condiciones de mercado.

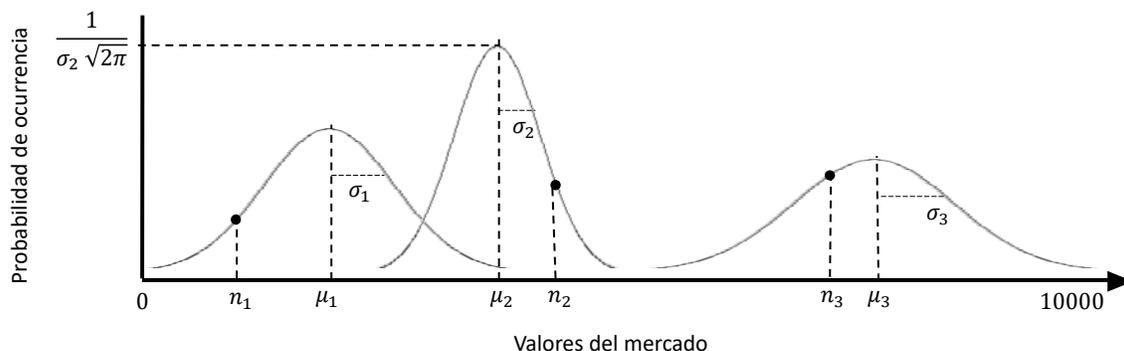
### **5.3.10. Aleatoriedad.**

En el modelo existen dos formas de aleatoriedad: en el mercado y en la formación de emprendimientos.

#### **5.3.10.1. *En el mercado.***

Dentro de los procesos aleatorios más destacados del modelo se encuentra la parametrización de los valores del mercado. La idea detrás de esta representación aleatorizada es dar cuenta de la variabilidad que existe en cualquier mercado, y cómo los actores del mismo, a pesar de poseer información acerca de su comportamiento les resulta imposible determinar con anticipación si un producto va a generar un gran impacto y por tanto como van a cambiar tanto las condiciones de mercado, como el nivel de rendimientos que este mercado transformado pueda dejar a los StartUps.

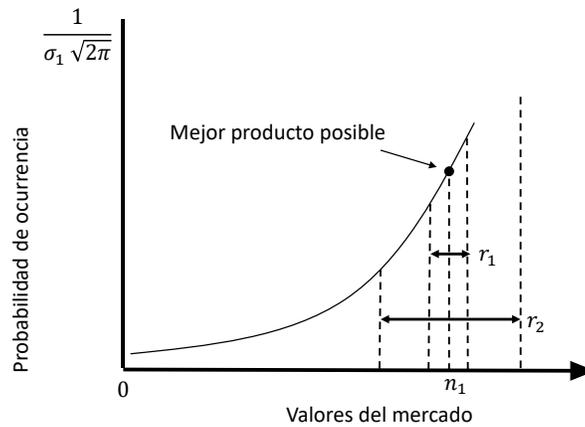
La Figura 5.6 presenta una configuración de las distribuciones que representan a cada mercado dentro de un intervalo de valores  $[0, 10.000]$  seleccionado para este modelo. Como ejemplo, se presentan 3 mercados diferentes con su respectivo valor medio y desviación. El funcionamiento de estos, como ya se describió en la descripción de las entidades, es generar un número aleatorio que sirve como referencia del mercado, este número es la representación del mejor producto que podría fabricarse ( $n_1, n_2, n_3$  para este caso) y por tanto el que dejaría ingresos más altos. Nótese que en algunas ocasiones los mercados se entrecruzan lo cual habilita la posibilidad de hacer exaptaciones, es decir elaborar un producto (numero) para un mercado y que este sea más efectivo en otro.



**Figura 5.6. Representación de distribuciones de mercado**  
Fuente: Elaboración propia

Parte de esta dinámica de aleatoriedad en los mercados es la posibilidad de conseguir distintos rendimientos en un mismo mercado dependiendo de qué tan cerca se este del mejor producto posible de éste. A manera de ejemplo, la Figura 5.7 presenta dos rangos ( $r_1$  y  $r_2$ ), en el caso que el producto del emprendimiento este entre el primer rango  $r_1$ , la ganancia será de k veces el costo de entrar al mercado; en el otro caso si el numero está dentro del rango dos y fuera del uno, la recompensa será del 80%. Estos rangos se calculan con base en la desviación de ese mercado.

Siendo así, el rango uno corresponde a estar a lo sumo un 1% por arriba o por debajo del mejor producto posible.

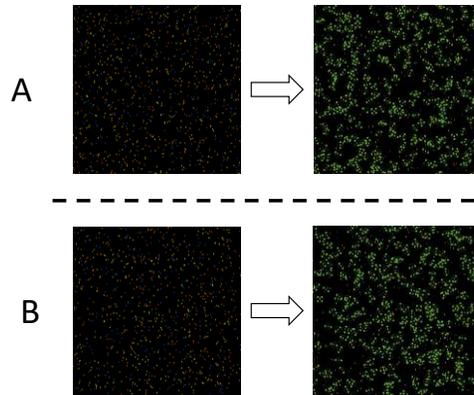


**Figura 5.7. Ejemplo de rangos de mercado**  
Fuente: Elaboración propia

### 5.3.10.2. En la formación de emprendimientos o StartUps.

La formación de un emprendimiento se da inicialmente por la unión de dos personas con diferentes conocimientos. Debido a que las personas se mueven por el mundo a su voluntad, el hecho de que se encuentren en el mismo espacio dos agentes y que además ambos tengan capacidades distintas genera un comportamiento aleatorio en cuanto al inicio de cada emprendimiento causando así que entre diferentes corridas del modelo con parámetros idénticos existan diferencias comportamentales al principio de la simulación.

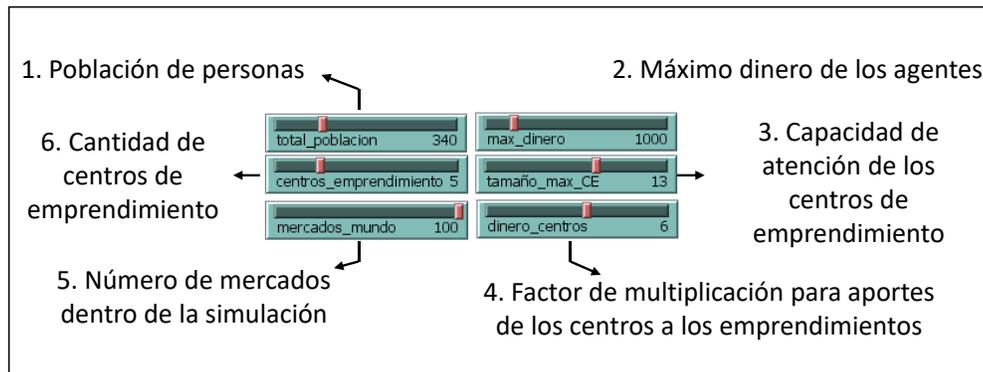
La Figura 5.8 presenta los escenarios A y B creados en dos momentos de tiempo diferentes, a partir de los mismos parámetros iniciales. Como se observa, para ambos casos, al iniciar la ejecución de la simulación se configura una distribución aleatoria de las personas y los StartUps.



**Figura 5.8. Distribución aleatoria de agentes**  
*Fuente: Elaboración propia*

### 5.3.11. Inicialización.

Los parámetros de inicialización se construyen a bajo las herramientas predeterminadas en la aplicación NETLOGO, los cuales se presentan a continuación en la Figura 5.9.



**Figura 5.9. Parámetros de inicialización de la simulación**  
*Fuente: Elaboración propia*

1. *Población de personas*: cantidad de personas en el mundo de la simulación puede variar entre 100 y 1000. La población puede crecer o decrecer en un porcentaje de crecimiento anual. El decrecimiento depende de la cantidad de personas que no encuentran pares asociados o que una vez conformado el emprendimiento, esta se liquida y desertan de

generar emprendimientos. La población crece agregando un porcentaje nuevo de personas cada año.

2. *Máximo dinero de los agentes:* Al comienzo de la simulación a cada agente se le da un capital inicial el cual utilizan en conjunto con otros agentes para dar el capital inicial al emprendimiento. Este capital con el que cuentan las personas es una variable aleatoria uniformemente distribuida entre 100 y el máximo de dinero.
3. *Capacidad de atención de los centros de emprendimiento:* es el número de StartUps que un centro de emprendimiento puede atender de manera simultánea.
4. *Factor de multiplicación para aportes de los centros a los StartUps:* este número determina la cantidad de dinero que se le aporta a los StartUps al momento de ser vinculados a alguno de los centros. El dinero otorgado es calculado con la siguiente ecuación:

$$\text{dinero otorgado} = \text{factor} * \text{maximo dinero}$$

5. *Numero de mercados:* cantidad de diferentes mercados a los que pueden lanzar productos los StartUps. Cada uno de estos mercados están caracterizados por una distribución normal con su respectiva media y desviación.
6. *Cantidad de centros de emprendimiento:* centros de emprendimiento dispersos aleatoriamente en mundo

### **5.3.12. Submodelos.**

La presentación de submodelos se realiza en cuatro categorías (i) Personas, (ii) StartUps, (iii) centros de emprendimiento y (iv) Mercado

#### **5.3.12.1. Personas**

*Búsqueda de personas o StartUps:* Este procedimiento se lleva a cabo por cada agente que no haga parte de un emprendimiento. En esencia consiste en caminar por el mundo de forma aleatoria hasta encontrar ya sea una persona o un emprendimiento. Al momento de coincidir con personas, se evalúan tres aspectos importantes: el primero es el tipo de conocimiento, la idea es que ambas personas tengan conocimientos diferentes para que al momento de conformar un emprendimiento se tengan tanto habilidades de ingeniería como habilidades de emprendimiento. Una vez verificado que el conocimiento sea diferente, se pasa a la evaluación del monto de dinero que el individuo puede aportar al emprendimiento, ambas variables conforman el valor de afinidad entre las personas. El tercer aspecto es el conocimiento sobre los mercados que posee el individuo. Se busca encontrar personas que exploren el mismo campo si el valor de afinidad requerido es alto, en caso contrario serán compatibles aquellos cuyo objetivo de mercado sean diversos.

Si contrario a encontrar una persona, en la caminata aleatoria se encuentra a un emprendimiento, el procedimiento se reduce a evaluar la afinidad siempre y cuando no se haya alcanzado el número máximo de personas de ese emprendimiento en particular. Para el caso de los StartUps la afinidad se determina como el promedio de la afinidad de las personas que lo conforman.

#### **5.3.12.2.      *Emprendimientos o StartUps***

- *Búsqueda de centros de emprendimiento:* si el emprendimiento determina que es necesario contar con el proceso que se lleva a cabo en los Centros, este busca acceder a los que conoce dada su ubicación espacial. Si el emprendimiento se encuentra dentro del radio de cobertura de un Centro de emprendimiento con la capacidad de atenderlo, este es vinculado a través de un link por donde se dará el flujo de información para la asesoría en la toma de decisiones de innovación.

- *Toma de decisión de innovación:* Este es el procedimiento central de los StartUps, en él se decide si se debe crear un nuevo producto (numero), mejorar el actual o exaptar a algún otro mercado. Cuando un emprendimiento se encuentra dentro del proceso de alguno de los centros de emprendimiento, la decisión es asesorada por este, en este caso el Centro toma el número actual y evalúa las distintas posibilidades comparándolo con el mercado objetivo actual y con los demás mercados a fin de encontrar dónde hay mayor posibilidad de tener ganancias. Si el mejor mercado para el producto es el mismo que el mercado objetivo del emprendimiento, la recomendación es mejorar el número, en caso de que haya promesa de mejores resultados en otro mercado, la recomendación es exaptar con el mismo número a ese mercado con promesa de mejora, si por el contrario el producto no es apropiado para ninguno de los mercados, la recomendación es crear uno nuevo.

Cuando el emprendimiento no está vinculado a un centro, la decisión se toma en relación con la utilidad. Si la utilidad es positiva, las opciones son mejorar el producto, en caso contrario generar un nuevo producto o exaptar, dando prioridad el primero, esto porque se conoce menos información sobre los demás mercados lo que acarrea un mayor riesgo si se pasa a otro mercado sin conocer su comportamiento.

- *Producción y mejoramiento de número:* Para la producción de números es necesario unir el conocimiento en ingeniería (operadores matemáticos básicos) con el conocimiento emprendedor (números del 1 al 10). A fin de incluir diversidad en la toma de decisiones al interior de la empresa, para escoger el operador y el número se hace un proceso de votación en el cual, para el caso de los operadores, cada ingeniero sugiere un operador de los que

son de su conocimiento al final se selecciona el que mayor cantidad de recomendaciones tenga. De forma similar se hace el proceso para los números.

Si la decisión de innovación fue mejorar el número actual, el operador y el número se le aplican a este. Si por el contrario la decisión fue crear un nuevo número, el operador se aplica a un número aleatorio entre 1 y 10 para comenzar la construcción del nuevo producto.

- *Exaptación por decisión:* Una vez tomada la decisión de exaptar, el procedimiento para realizar la exaptación es simple, consiste en cambiar el mercado objetivo por el mercado sugerido por el centro de emprendimiento. En caso contrario se exapta al adyacente posible que es alguno de los mercados que conozcan las personas que pertenecen al emprendimiento.
- *Exaptación por presión del entorno:* Este procedimiento se activa cuando se ha tenido una pendiente negativa en el capital con el que cuenta el emprendimiento. Esto debido a que un decrecimiento del dinero disponible es evidencia de fracaso en los lanzamientos de productos. A lo largo de la vida de los StartUps, estos generan gran cantidad de productos que no son lanzados al mercado, ya sea por la recomendación de los centros de emprendimiento o porque no coinciden con los tiempos de producción con los tiempos de lanzamiento. Algunos de estos números son almacenados en un vector cuyo tamaño está determinado por el conocimiento que tenga la empresa. Cuando el mecanismo de exaptación por presión del entorno es activado, se selecciona uno de estos números para lanzarlo a alguno de los mercados que conocen los socios del StartUp. Si este producto

almacenado que es lanzado trae ganancias, se establece este nuevo mercado como objetivo y el número como producto principal del emprendimiento.

- *Lanzamiento y evaluación de utilidad de productos:* Cada cierto tiempo, los StartUps lanzan sus productos al mercado, este proceso consiste en someter al número producido a una comparación con el mercado pagando un costo por hacer esta evaluación. El número es comparado con el mejor producto posible dentro de ese mercado a través de un mecanismo que determina que tan lejos se encuentra de este en términos de la desviación del mercado. Una vez determinada la distancia del número se procede a evaluar las ganancias obtenidas de la siguiente forma:
  - $0.05\sigma$ : la ganancia es igual al total del premio. Adicionalmente, como en este caso se considera que el producto es una innovación, la media y la desviación del mercado cambian aleatoriamente en un rango del 40% y 50-100 respectivamente.
  - $0.00\sigma$  a  $0.10\sigma$ : la ganancia es 90% del premio.
  - $0.10\sigma$  a  $0.20\sigma$ : la ganancia es 70% del premio.
  - $0.20\sigma$  a  $0.40\sigma$ : la ganancia es 50% del premio.
  - $>0.40\sigma$ : no hay ganancia.

### **5.3.12.3. Centros de emprendimiento**

- *Vincular y desvincular StartUps:* La vinculación y desvinculación de StartUps a los centros, se hace a través de links con un tiempo de caducidad. A través de estas conexiones se hace la transferencia de las recomendaciones de innovación a los StartUps. Cuando el emprendimiento crea la conexión con el centro, este les otorga cierta cantidad de dinero para financiar la creación y mejoramiento de mejores productos.

- *Asesorar decisiones de innovación:* Cuando el emprendimiento produce un número, el trabajo del centro es comparar con todos los mercados disponibles para determinar cuál de ellos es mejor para ese producto. Esta comparación es simple y se hace basada en los conocimientos de la media y la desviación de cada mercado. Cabe aclarar que el centro de emprendimiento no conoce el mejor producto posible de cada mercado, estos solo poseen información sobre el comportamiento de estos. Cuando la recomendación es mejorar el producto, el centro transfiere conocimiento sobre la media del mercado a fin de que los productos futuros estén mejor adaptados al mercado objetivo.

#### **5.3.12.4. Mercado**

*Actualizar mejor producto:* El mejor producto de cada mercado es un valor aleatorio calculado a partir de una distribución normal con sus respectivos parámetros. Cada vez que se determina el mejor producto posible, también se establece el tiempo durante el que este estará vigente. Cuando el tiempo de vigencia se cumple, se vuelve a determinar un número utilizando la distribución de probabilidad.

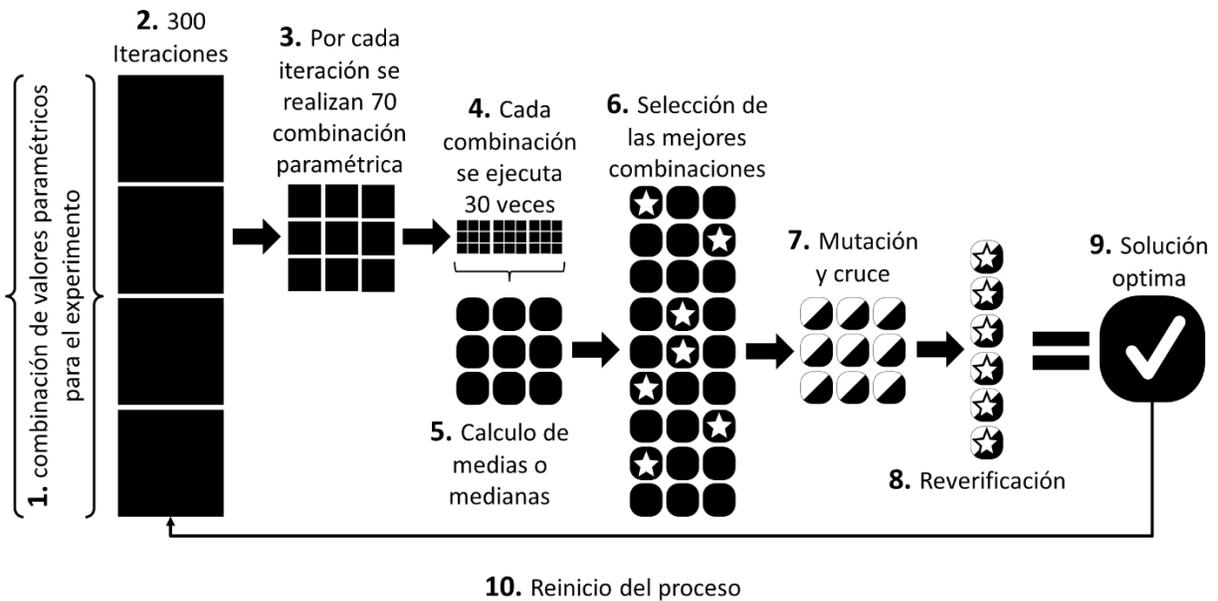
## 6. Experimentos y resultados

Además de constituirse como una de las principales fortalezas de la simulación basada en agentes, los experimentos complementan el proceso de validación descrito previamente en la sección 4. La noción de experimento en simulación no dista mucho de la establecida desde el método científico, al caracterizarse paralelamente como un procedimiento que mediante la manipulación de variables relevantes para el estudio altera el comportamiento del sistema, permitiendo al investigador observar y atender a las posibles variaciones en la dinámica del modelo o unidad de análisis (Hinkelmann & Kempthorne, 2008). No obstante, para el caso de la simulación basada en agentes, las herramientas de experimentación resultan ser más interactivas y dinámicas, al permitir al observador no solo repetir el experimento tantas veces como sea necesario, sino también habilitar la reconfiguración de los parámetros iniciales del mismo de manera instantánea y según los intereses de evaluación.

Las primeras versiones de la herramienta de experimentos en Netlogo denominadas como – Behavior Search – se concibieron como herramientas para ejecutar modelos repetidamente, y de manera automática, que permiten modificar los parámetros iniciales y registrar los resultados obtenidos, “permitiéndole al evaluador descubrir que combinaciones de valores paramétricos son responsables de los comportamientos de interés” (García-Valdecasas, 2016, p.74). La más reciente versión del programa (Netlogo 6.01) introdujo entre otras características una actualizada herramienta de análisis, la cual por sus especificaciones técnicas resulta ser más eficiente que el analizador de comportamientos tradicional en el descubrimiento de las mejores combinaciones paramétricas de interés.

Para ello, la herramienta integra un buscador basado en un algoritmo genético que a partir del espacio total de soluciones, identifica las mejores combinaciones de parámetros en relación con el objetivo del experimento, es decir, que previo a la ejecución de cada experimento el investigador establece una función objetivo, y con esta, la herramienta ejecuta un procedimiento que identifica y literalmente – evoluciona – una combinación de valores paramétricos óptima en relación con la función y el total del espacio de soluciones.

Dado este contexto, se desarrollaron 4 experimentos en la plataforma alineados con las problemáticas expuestas en las secciones 2 y 3 de este documento, esta alineación llevó consigo la necesidad de desarrollar una clasificación de los experimentos en dos categorías: (i) Experimentos principales de la investigación y (ii) experimentos complementarios de la investigación. La razón para establecer dos categorías proviene de la diferencia entre los objetivos de esta investigación y la escalabilidad de análisis propia de los modelos basados en agentes, los cuales, al permitir integrar diferentes parámetros para el estudio de un fenómeno, habilitan la valoración y análisis de comportamientos adicionales que pueden resultar de interés para un proceso de investigación. Para todos los experimentos, se estableció un proceso de desarrollo común que permita la comparación de los resultados, descrito de manera resumida en la Figura 6.1.



**Figura 6.1. Proceso de ejecución de experimentos**  
*Fuente: Elaboración propia*

En la primera fase cada experimento fue configurado con una combinación de valores paramétricos igual, que corresponde con la distribución presentada en la Tabla 6.1, la cual presenta los límites máximo y mínimo de combinación y los intervalos de análisis para cada uno de los parámetros manuales del modelo. En relación con la configuración de intervalos, se tomó como referente la proporción de valores, de ahí que parámetros como (i) total\_poblacion y (ii) max\_dinero, con límites amplios en sus parámetros, se asignaran intervalos mayores en comparación con (i) mercados\_mundo y (ii) dinero\_centros que poseen límites menores. Otro aspecto por resaltar, se enfoca en la asignación de límites menores para los parámetros, excepto por el parámetro – centros\_emprendimiento – los demás inician con algún valor, esto con el objetivo de desarrollar las simulaciones bajo el supuesto que cualquiera de los escenarios en el ecosistema de emprendimiento posee alguna condición mínima de inicio diferente a 0. La excepción en el parámetro mencionado se hace de manera condicionada con el propósito de validar escenarios posibles donde los centros de emprendimiento no existan y con ello determinar si para

alguno de los experimentos, la inexistencia de centros de emprendimiento hace parte de la parametrización óptima.

**Tabla 6.1.**  
*Relación de parámetros y rangos de experimentos*

<b>Parámetros</b>	<b>Límite mínimo</b>	<b>Variación</b>	<b>Límite máximo</b>
total_poblacion	100	100	1000
max_dinero	900	100	2100
centros_emprendimiento	0	2	20
tamaño_max_ce	2	1	20
%_afinidad_personas	10	10	90
tamaño_max_emprendimiento	2	1	7
mercados_mundo	1	10	100
dinero_centros	1	1	10
%_afinidad_mercados	10	10	100

*Fuente: Elaboración propia*

Dada la parametrización y los rangos, se configuró en la herramienta un arreglo de 300 model runs o iteraciones por simulación; cada iteración contiene a su vez 70 individuos, entendiendo como individuo una combinación paramétrica definida de manera aleatoria en la herramienta, la cual es ejecutada cada simulación por un espacio de 3650 ticks<sup>15</sup>. En concordancia con las aproximaciones de Babbie (2000), respecto del número mínimo de muestra para pruebas piloto, cada combinación paramétrica es ejecutada 30 veces extrayendo la media o la mediana de los

<sup>15</sup> En el espacio de simulación, 3650 ticks representan en el mundo real 10 años, cerca de 5 veces la media de duración de los emprendimientos en Colombia según Pardo & Alfonso (2015) y Pereira et al. (2012). Se establece un periodo amplio de tiempo, dado que para este tipo de modelos los comportamientos pueden variar en términos de magnitud y escala.

resultados, la cual se convierte en el resultado final para cada uno de los individuos o combinaciones paramétricas. Dado que el criterio de selección del algoritmo genético se basa en – elitismo – solo son seleccionadas para realizar cruces o mutaciones las mejores combinaciones paramétricas que tengan un resultado o fitness más alto en relación con el objetivo del experimento.

Cada experimento se ve expuesto a dos procesos adicionales para el incremento de la confiabilidad interna de los datos. En primera instancia, una vez el algoritmo genera la mejor combinación de datos posibles, ejecuta un procedimiento de reverificación donde los mejores resultados son simulados 4 veces más a fin de comprobar las diferencias en los resultados, de no guardar esta propiedad, el experimento se reinicia. El segundo proceso es desarrollado al final del ciclo anteriormente descrito, para ello la herramienta replica 3 búsquedas más todo el experimento, validando la similitud en los resultados y generando una última, óptima y revisada combinación paramétrica que se constituye como el producto final del experimento

## **6.1. Experimentos principales de la investigación**

Este primer arreglo de experimentos converge en la identificación de combinaciones de valores paramétricos vinculados con las dimensiones de análisis presentadas en la sección 3.5. Así, se formularon dos experimentos donde la función objetivo busca la maximización de efectos vinculados con la naturaleza de esta investigación. Los experimentos fueron distribuidos de la siguiente manera: (i) Experimento de maximización de innovaciones exaptativas, para utilizar la clasificación propuesta por Mastrogiorgio & Gilsing (2016), Andriani & Cattani (2016), y (ii) Experimento de maximización de innovaciones totales.

### **6.1.1. Experimento de maximización de innovaciones exaptativas**

El primer experimento se desarrolla a partir de la primera de las dimensiones de análisis y el objetivo principal de esta investigación, la construcción de un modelo basado en agentes que explique el proceso innovador en los ecosistemas de emprendimiento, partiendo de las exaptaciones como uno de los mecanismos principales de los sistemas vivos para innovar (Andriani & Cattani, 2016; Andriani & Cohen, 2005; Bonfati & Villani, 2013; Feltrinelli & Garda, 2009; Ganzaroli, 2011). En esta vía, este experimento tiene como función objetivo identificar la mejor combinación paramétrica, para lograr el máximo posible de innovaciones exaptativas y a partir de los resultados, proponer conclusiones sobre estructura, configuración y operación del ecosistema de emprendimiento colombiano en una escala real. Para la inicialización del experimento se estableció la siguiente combinación de atributos y valores paramétricos presentados en el Tabla de parámetros 6.1.

---

### Tabla de parámetros 6.1

#### Experimento 1 – Maximización de innovaciones exaptativas

---

```
<?xml version="1.0" encoding="US-ASCII"?
<!DOCTYPE search SYSTEM "behaviorsearch.dtd">
<search>
  <modelInfo>
    <modelStepLimit>3650</modelStepLimit>
    <modelMetricReporter>exaptaciones_verdes + exaptaciones_azules + exaptaciones_amarillos
    + total_emprendimientos_sirve_incursion</modelMetricReporter>
    <modelMeasureIf>true</modelMeasureIf>
  </modelInfo>
  <fitnessInfo>
    <fitnessMinimized>false</fitnessMinimized>
    <fitnessCollecting>AT_FINAL_STEP</fitnessCollecting>
    <fitnessSamplingReplications>30</fitnessSamplingReplications>
    <fitnessCombineReplications>MEAN</fitnessCombineReplications>
  </fitnessInfo>
  <searchSpace>
    <paramSpec>["total_poblacion" [100 100 1000]]</paramSpec>
    <paramSpec>["max_dinero" [900 100 2100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["centros_emprendimiento" [0 2 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_ce" [2 1 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_personas" [10 10 90]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_emprendimiento" [2 1 7]]</paramSpec>
  </searchSpace>
</search>
```

```

    <paramSpec>["mercados_mundo" [1 10 100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["dinero_centros" [1 1 10]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_mercados" [10 10 100]]</paramSpec>
</searchSpace>
<searchMethod type="StandardGA">
  <searchMethodParameter value="0.03" name="mutation-rate"/>
  <searchMethodParameter value="70" name="population-size"/>
  <searchMethodParameter value="0.7" name="crossover-rate"/>
  <searchMethodParameter value="generational" name="population-model"/>
  <searchMethodParameter value="3" name="tournament-size"/>
</searchMethod>
<chromosomeRepresentation type="GrayBinaryChromosome"/>
< caching>true</ caching>
< evaluationLimit>300</ evaluationLimit>
< bestCheckingNumReplications>4</ bestCheckingNumReplications>
</search>

```

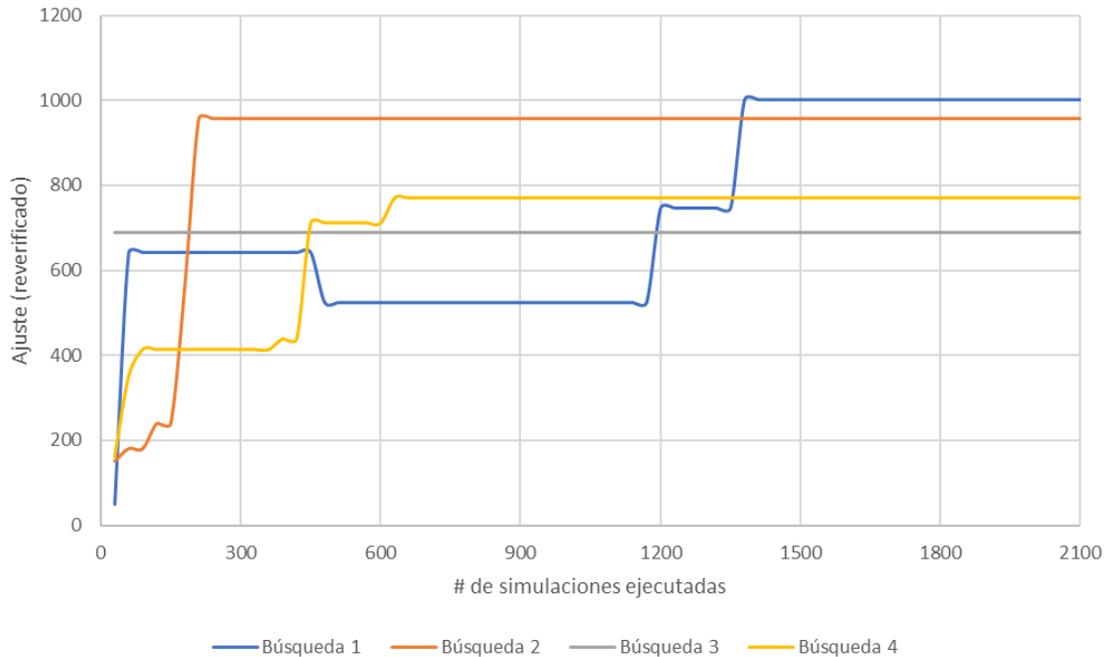
---

*Fuente: Elaboración propia*

Como aspecto a resaltar de la parametrización, fue tomada la media como medida para la selección de las mejores combinaciones paramétricas, esto con el objetivo de aprovechar los posibles resultados extremos como oportunidad para incrementar la efectividad del experimento. Respecto de los resultados del experimento, la Figura 6.3 presenta el desempeño y evolución de las 4 búsquedas de experimento como se enunció en la sección 6, la gráfica presenta las mejores simulaciones ejecutadas contra los resultados obtenidos en un espacio total de 2100 simulaciones ejecutadas.

La Figura evidencia un patrón consistente de optimización, aun cuando las 4 búsquedas fueron realizadas con combinaciones paramétricas diferentes, concentrando los mejores resultados en un intervalo de entre 680 y 1.000 innovaciones exaptativas, lo que da cuenta de la consistencia en los resultados de este experimento. En efecto, el patrón de optimización se observa después de la ejecución 1350 para todas las repeticiones, con variaciones previa en la repetición 450 y 1200 para

la búsqueda 1; al cierre del experimento los tres mejores resultados corresponden a las búsquedas 1, 2 y 4 con diferencias no superiores a 231 innovaciones exaptativas.



**Figura 6.2. Evolución de resultados del experimento 1**  
Fuente: Elaboración propia

Respecto de las combinaciones paramétricas finales, la Tabla 6.2 presenta los 4 mejores resultados después del proceso de reverificación enunciado en la sección 6, permitiendo de entre las opciones, identificar el resultado final o combinación óptima que será sujeto de análisis en la siguiente sección. A través de las 4 búsquedas, los parámetros más consistentes fueron (i) Tamaño máximo de emprendimiento, (ii) % de afinidad de mercados y (iii) Total población, los cuales registraron variaciones menores en su configuración; en contraste los parámetros de (i) Máximo de dinero, y (ii) Tamaño máximo de emprendimientos, los cuales presentaron variaciones mayores entre las búsquedas. Como valor final, es seleccionado el de mayor valor de calificación en la última fila

denominada – best-fitness-rechecked – el cual corresponde a la búsqueda 1 con una calificación de 1.000 innovaciones exaptativas, 44 por encima de la segunda posición.

**Tabla 6.2.**  
*Relación de parámetros y mejores experimentos*

<b>search-number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
evaluation	2100	2100	2100	2100
total_poblacion*	800	900	800	900
max_dinero*	1200	900	2100	1800
centros_emprendimiento*	18	12	4	4
tamaño_max_ce*	19	19	19	20
%_afinidad_personas*	70	80	70	40
tamaño_max_emprendimiento*	4	3	2	3
mercados_mundo*	91	81	81	61
dinero_centros*	5	3	9	3
%_afinidad_mercados*	40	20	40	40
num-replicates	30	30	30	30
best-fitness-so-far	828,8	1093,5	729,0	778,1
recheck-replications	4	4	4	4
best-fitness-rechecked	1000,8	956	688,8	769,8

*Fuente: Elaboración propia*

### **6.1.2. Experimento de maximización de innovaciones totales**

Este experimento se construye a partir de la innovación, como una de las dimensiones de análisis en esta investigación, partiendo de que el problema base de estudio converge en la comprensión de la innovación como proceso en las organizaciones (Drucker, 2004). Como se describió en la sección 2, las diferentes aproximaciones hacia el proceso innovador resultan en la construcción de modelos que proponen estructuras y mecanismos para generar el máximo posible de innovaciones en la organización. En esta vía, este experimento tiene como función objetivo identificar la mejor combinación paramétrica, para lograr el máximo posible de innovaciones y a partir de los resultados, proponer conclusiones sobre estructura, configuración y operación del

ecosistema de emprendimiento colombiano en una escala real. Para la inicialización del experimento se estableció la siguiente combinación de atributos y valores paramétricos presentados en el Tabla de parámetros 6.2.

---

### Tabla de parámetros 6.2

#### Experimento 2 – Maximización de innovaciones

---

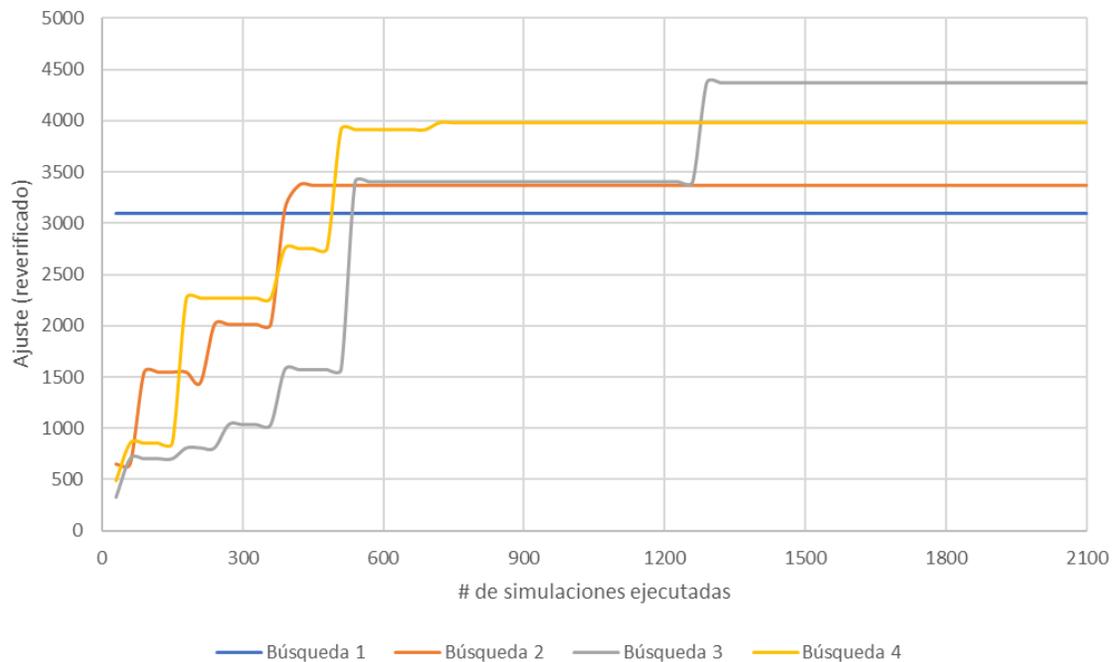
```
<?xml version="1.0" encoding="US-ASCII"?
<!DOCTYPE search SYSTEM "behaviorsearch.dtd">
<search>
  <modelInfo>
    <modelStepLimit>3650</modelStepLimit>
    <modelMetricReporter>sum [total_aciertos] of emprendimientos</modelMetricReporter>
    <modelMeasureIf>true</modelMeasureIf>
  </modelInfo>
  <fitnessInfo>
    <fitnessMinimized>false</fitnessMinimized>
    <fitnessCollecting>AT_FINAL_STEP</fitnessCollecting>
    <fitnessSamplingReplications>30</fitnessSamplingReplications>
    <fitnessCombineReplications>MEAN</fitnessCombineReplications>
  </fitnessInfo>
  <searchSpace>
    <paramSpec>["total_poblacion" [100 100 1000]]</paramSpec>
    <paramSpec>["max_dinero" [900 100 2100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["centros_emprendimiento" [0 2 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_ce" [2 1 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_personas" [10 10 90]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_emprendimiento" [2 1 7]]</paramSpec>
    <paramSpec>["mercados_mundo" [1 10 100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["dinero_centros" [1 1 10]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_mercados" [10 10 100]]</paramSpec>
  </searchSpace>
  <searchMethod type="StandardGA">
    <searchMethodParameter value="0.03" name="mutation-rate"/>
    <searchMethodParameter value="70" name="population-size"/>
    <searchMethodParameter value="0.7" name="crossover-rate"/>
    <searchMethodParameter value="generational" name="population-model"/>
    <searchMethodParameter value="3" name="tournament-size"/>
  </searchMethod>
  <chromosomeRepresentation type="GrayBinaryChromosome"/>
  < caching>true</ caching>
  < evaluationLimit>300</ evaluationLimit>
  < bestCheckingNumReplications>4</ bestCheckingNumReplications>
</search>
```

---

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera que en el experimento anterior (sección 6.1.1) en la parametrización inicial fue tomada la media como medida para la selección de las mejores combinaciones paramétricas, esto con el objetivo de aprovechar los posibles resultados extremos como oportunidad para incrementar la efectividad del experimento. Respecto de los resultados del experimento, la Figura 6.4 presenta el desempeño y evolución de las 4 búsquedas de experimento como se enunció en la sección 6, la gráfica presenta las mejores simulaciones ejecutadas contra los resultados obtenidos en un espacio total de 2100 simulaciones ejecutadas.

La gráfica evidencia el mismo patrón consistente de optimización, aun cuando las 4 búsquedas fueron realizadas con combinaciones paramétricas diferentes, concentrando los mejores resultados en un intervalo de entre 3.200 y 4.400 innovaciones, lo que da cuenta de la confiabilidad en los resultados de este experimento, como novedad la búsqueda 1 desarrolló un comportamiento constante a través de todo el proceso donde no supero las 3.091 innovaciones, lo cual no representa un problema en el experimento sino por el contrario un comportamiento posible en el marco del algoritmo evolutivo sobre el que opera el sistema de búsqueda. El conjunto de búsquedas entra en equilibrio a partir de la ejecución 540 desarrollando un patrón constante para todas las ejecuciones, con variaciones en la repetición 1260 para la búsqueda 3; al cierre del experimento los tres mejores resultados corresponden a las búsquedas 3, 4 y 2 con diferencias no superiores a 996 innovaciones.



**Figura 6.3. Evolución de resultados del experimento 2**  
*Fuente: Elaboración propia*

Respecto de las combinaciones paramétricas finales, la Tabla 6.3 presenta los 4 mejores resultados después del proceso de reverificación enunciado en la sección 6, permitiendo de entre las opciones identificar el resultado final o combinación óptima que será sujeto de análisis en la siguiente sección. De las 4 búsquedas, los parámetros más consistentes fueron (i) max\_dinero, y (ii) tamaño máximo de emprendimientos, los cuales registraron las menores variaciones en su configuración; en contraste los parámetros de (i) centros de emprendimiento, (ii) % de afinidad de personas, y (iii) dinero de los centros, presentaron variaciones mayores entre las búsquedas. Como valor final, es seleccionado el de mayor valor de calificación en la última fila denominada – best-fitness-rechecked – el cual corresponde a la búsqueda 3 con una calificación de 4370 innovaciones, 388 por encima de la segunda posición.

**Tabla 6.3.**  
*Relación de parámetros y mejores experimentos*

<b>search-number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
evaluation	2100	2100	2100	2100
total_poblacion*	800	900	1000	900
max_dinero*	1900	1200	1900	1300
centros_emprendimiento*	18	8	16	12
tamaño_max_ce*	20	17	12	15
%_afinidad_personas*	50	80	90	70
tamaño_max_emprendimiento*	2	2	3	3
mercados_mundo*	11	41	71	71
dinero_centros*	6	1	10	3
%_afinidad_mercados*	60	80	30	50
num-replicates	30	30	30	30
best-fitness-so-far	3088,6	3342,5	4223,7	4017,6
recheck-replications	4	4	4	4
best-fitness-rechecked	3091,6	3374,4	4370,8	3982,6

*Fuente: Elaboración propia*

## **6.2. Experimentos complementarios de la investigación**

Los experimentos complementarios corresponden con una de las problemáticas descritas desde los diferentes informes sobre emprendimiento y ecosistemas de emprendimiento realizados en el país, que a partir de la parametrización del modelo pueden proveer algunas reflexiones de interés respecto de su comportamiento y efectos en el modelo. Esta problemática converge en el papel que desempeña el dinero y la financiación en la emergencia de innovaciones y sostenibilidad de los StartUps, el cual, autores como Gómez & Mitchell (2014), Guerrero & García (2013), Henríquez et al. (2010), Pardo & Alfonso (2015), Red de Camaras de Comercio (2014), The Breakthrough (2012) describe como significativo para ambos aspectos. Dado este contexto, se formularon dos experimentos orientados a la maximización de efectos vinculados con las innovaciones en un escenario de restricción de recursos financieros disponibles. Los experimentos fueron distribuidos de la siguiente manera: (i) Experimento de minimización del uso de dinero con

el máximo posible de innovaciones exaptativas, y por último (iii) Experimento de minimización del uso de dinero con el máximo posible de innovaciones en total.

### **6.2.1. Experimento de minimización de dinero y maximización de innovaciones exaptativas**

Paralelamente, el trabajo de Pardo & Alfonso, (2015) expone que 74,4% de las firmas que fracasan en el país, lo hacen por ingresos insuficientes para la subsistencia, junto con un 63.9% atribuible a problemas de financiamiento, lo que se alinea con las reflexiones de Gómez & Mitchell (2014) y la Red de Camaras de Comercio (2014) respecto de las necesidades de financiamiento y liquidez de las nuevas firmas. Sin embargo, el reciente informe de mapeo y caracterización de los ecosistemas de emprendimiento en Colombia (Innpulsa, 2017b) indica que los StartUps son estructuras que se destacan por estar en una etapa donde recurrentemente apelan a la búsqueda de capital de inversión o financiación para desarrollarse, lo cual evidencia una problemática de interés entre los requisitos mínimos para hacer sostenible un emprendimiento y las condiciones del entorno que habilitan o no su desarrollo.

En esta vía, este experimento tiene como función objetivo identificar la mejor combinación paramétrica, para lograr el máximo posible de innovaciones exaptativas en los StartUps, usando el mínimo posible de dinero y a partir de los resultados, proponer conclusiones sobre estructura, configuración y operación del ecosistema de emprendimiento colombiano en una escala real. Para la inicialización del experimento se estableció la siguiente combinación de atributos y valores paramétricos presentados en el Tabla de parámetros 6.5.

---

### **Tabla de parámetros 6.3**

## Experimento 5 – Minimización de dinero con maximización de innovaciones exaptativas

---

```
<?xml version="1.0" encoding="US-ASCII"?>
<!DOCTYPE search SYSTEM "behaviorsearch.dtd">
<search>
  <modelInfo>
    <modelStepLimit>3650</modelStepLimit>
    <modelMetricReporter>exaptaciones_verdes + exaptaciones_azules +
    exaptaciones_amarillos +
    total_emprendimientos_sirve_incursion</modelMetricReporter>
    <modelMeasureIf>true</modelMeasureIf>
  </modelInfo>
  <fitnessInfo>
    <fitnessMinimized>false</fitnessMinimized>
    <fitnessCollecting> MEAN_ACROSS_STEPS </fitnessCollecting>
    <fitnessSamplingReplications>30</fitnessSamplingReplications>
    <fitnessCombineReplications>MEAN</fitnessCombineReplications>
  </fitnessInfo>
  <searchSpace>
    <paramSpec>["total_poblacion" [100 100 1000]]</paramSpec>
    <paramSpec> ["max_dinero" 900] </paramSpec>
    <paramSpec>["centros_emprendimiento" [0 2 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_ce" [2 1 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_personas" [10 10 90]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_emprendimiento" [2 1 7]]</paramSpec>
    <paramSpec>["mercados_mundo" [1 10 100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["dinero_centros" [1 1 10]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_mercados" [10 10 100]]</paramSpec>
  </searchSpace>
  <searchMethod type="StandardGA">
    <searchMethodParameter value="0.03" name="mutation-rate">
    <searchMethodParameter value="70" name="population-size">
    <searchMethodParameter value="0.7" name="crossover-rate">
    <searchMethodParameter value="generational" name="population-model">
    <searchMethodParameter value="3" name="tournament-size">
  </searchMethod>
  <chromosomeRepresentation type="GrayBinaryChromosome">
  < caching>true</ caching>
  < evaluationLimit>300</ evaluationLimit>
  < bestCheckingNumReplications>4</ bestCheckingNumReplications>
</search>
```

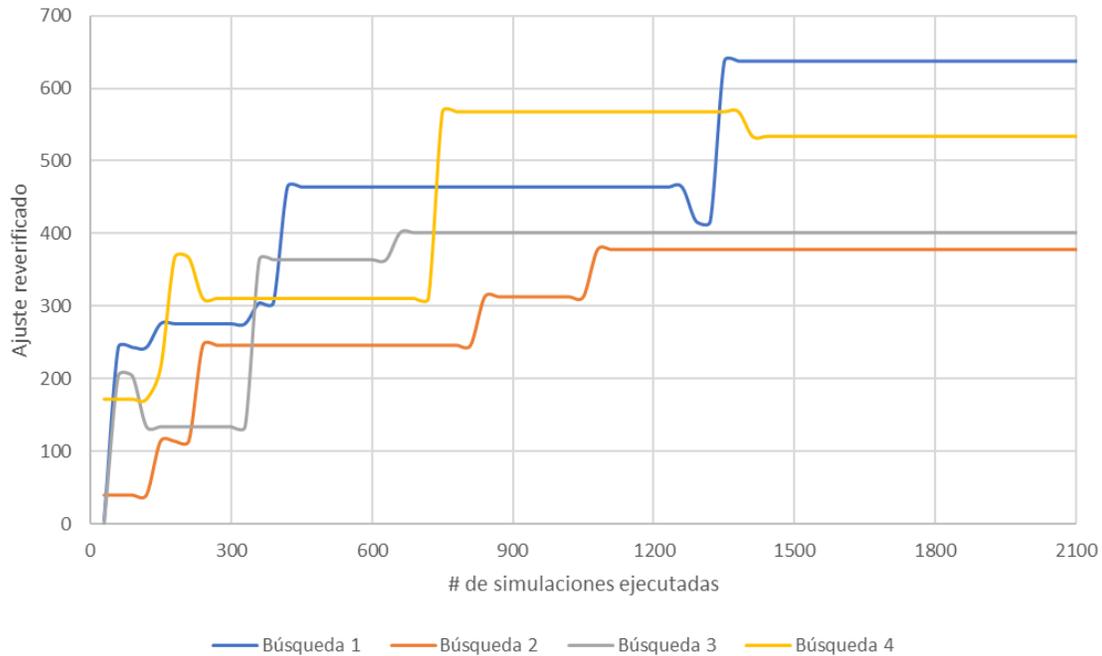
---

Fuente: Elaboración propia

A diferencia del experimento 4 de la sección anterior (sección 6.1.4) en la parametrización inicial se introdujo el condicional de mínimo de dinero para el experimento, para lo cual el

parámetro – max\_dinero – fue bloqueado en el valor mínimo posible correspondiente a 900. Respecto del sistema de medición, fue tomada la media como medida para la selección de las mejores combinaciones paramétricas, dado que la función objetivo del experimento se orienta maximizar la tendencia en generación de innovaciones exaptativas, en la misma vía, el sistema de medición para realizar las combinaciones y/o mutaciones de los individuos fue modificado a – MEAN\_ACROSS\_STEPS – lo que significa que solo los resultados con las mejores medias de conocimiento de mercado son seleccionados para evolucionar. En relación con los resultados del experimento, la Figura 6.7 presenta el desempeño y evolución de las 4 búsquedas de experimento como se enunció en la sección 6, la gráfica presenta las mejores simulaciones ejecutadas contra los resultados obtenidos en un espacio total de ejecución de 2100 simulaciones.

La gráfica evidencia el mismo patrón consistente de optimización, aun cuando las 4 búsquedas fueron realizadas con combinaciones paramétricas diferentes, concentrando los mejores resultados en un intervalo de entre 370 y 640 innovaciones exaptativas, lo que da cuenta de la confiabilidad en los resultados de este experimento. El conjunto de búsquedas entra en equilibrio a partir de la ejecución 1350 desarrollando un patrón constante para todas las ejecuciones, con variaciones menores registradas en la repetición 1380 para la búsqueda 4; al cierre del experimento los tres mejores resultados corresponden a las búsquedas 1, 4 y 3 con diferencias no superiores a 236 innovaciones exaptativas.



**Figura 6.4. Evolución de resultados del experimento 5**  
*Fuente: Elaboración propia*

Respecto de las combinaciones paramétricas finales, la Tabla 6.6 presenta los 4 mejores resultados después del proceso de reverificación enunciado en la sección 6, permitiendo de entre las opciones identificar el resultado final o combinación óptima que será sujeto de análisis en la siguiente sección. De las 4 búsquedas, los parámetros más consistentes fueron (i) total\_poblacion y (ii) % de afinidad de mercados, los cuales registraron variaciones menores en su configuración; en contraste los parámetros de (i) % de afinidad de personas, (ii) Tamaño máximo de emprendimientos y (iii) dinero\_centros, presentaron variaciones mayores entre las búsquedas. Como valor final, es seleccionado el de mayor valor de calificación en la última fila denominada – best-fitness-rechecked – el cual corresponde a la búsqueda 1 con una calificación de 638 innovaciones exaptativas, 69 por encima de la segunda posición.

**Tabla 6.4**

Relación de parámetros y mejores experimentos

<b>search-number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
evaluation	2100	2100	2100	2100
total_poblacion*	800	1000	900	900
max_dinero*	900	900	900	900
centros_emprendimiento*	8	16	16	20
tamaño_max_ce*	20	15	19	19
%_afinidad_personas*	80	70	40	30
tamaño_max_emprendimiento*	3	2	6	7
mercados_mundo*	81	11	71	81
dinero_centros*	3	9	2	1
%_afinidad_mercados*	60	20	60	60
num-replicates	30	30	30	30
best-fitness-so-far	613,7	374,5	507,0	544,9
recheck-replications	4	4	4	4
best-fitness-rechecked	637,9	378,1	401,9	568,2

*Fuente: Elaboración propia*

### **6.2.2. Experimento de minimización de dinero y maximización de innovaciones en general**

El último experimento resulta un derivado del planteado en la sección 6.2.2 el cual se construye bajo la misma argumentación y evidencia teórica, la diferencia radica en enfocarse en el problema de la emergencia de innovaciones el cual fue explicado en la sección 6.1.2 en términos de su pertinencia para esta investigación. En esta vía, este experimento tiene como función objetivo identificar la mejor combinación paramétrica, para lograr el máximo posible de innovaciones en los StartUps, usando el mínimo posible de dinero y a partir de los resultados, proponer conclusiones sobre estructura, configuración y operación del ecosistema de emprendimiento colombiano en una escala real. Para la inicialización del experimento se estableció la siguiente combinación de atributos y valores paramétricos presentados en el Tabla de parámetros 6.6.

## Tabla de parámetros 6.4

### Experimento 6 – Minimización de dinero con maximización de innovaciones

---

```
<?xml version="1.0" encoding="US-ASCII"?>
<!DOCTYPE search SYSTEM "behaviorsearch.dtd">
<search>
  <modelInfo>
    <modelStepLimit>3650</modelStepLimit>
    <modelMetricReporter>sum [total_aciertos] of emprendimientos</modelMetricReporter>
    <modelMeasureIf>true</modelMeasureIf>
  </modelInfo>
  <fitnessInfo>
    <fitnessMinimized>false</fitnessMinimized>
    <fitnessCollecting> MEAN_ACROSS_STEPS </fitnessCollecting>
    <fitnessSamplingReplications>30</fitnessSamplingReplications>
    <fitnessCombineReplications>MEAN</fitnessCombineReplications>
  </fitnessInfo>
  <searchSpace>
    <paramSpec>["total_poblacion" [100 100 1000]]</paramSpec>
    <paramSpec> ["max_dinero" 900] </paramSpec>
    <paramSpec>["centros_emprendimiento" [0 2 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_ce" [2 1 20]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_personas" [10 10 90]]</paramSpec>
    <paramSpec>["tamaño_max_emprendimiento" [2 1 7]]</paramSpec>
    <paramSpec>["mercados_mundo" [1 10 100]]</paramSpec>
    <paramSpec>["dinero_centros" [1 1 10]]</paramSpec>
    <paramSpec>["%_afinidad_mercados" [10 10 100]]</paramSpec>
  </searchSpace>
  <searchMethod type="StandardGA">
    <searchMethodParameter value="0.03" name="mutation-rate"/>
    <searchMethodParameter value="70" name="population-size"/>
    <searchMethodParameter value="0.7" name="crossover-rate"/>
    <searchMethodParameter value="generational" name="population-model"/>
    <searchMethodParameter value="3" name="tournament-size"/>
  </searchMethod>
  <chromosomeRepresentation type="GrayBinaryChromosome"/>
  <caching>true</caching>
  <evaluationLimit>300</evaluationLimit>
  <bestCheckingNumReplications>4</bestCheckingNumReplications>
</search>
```

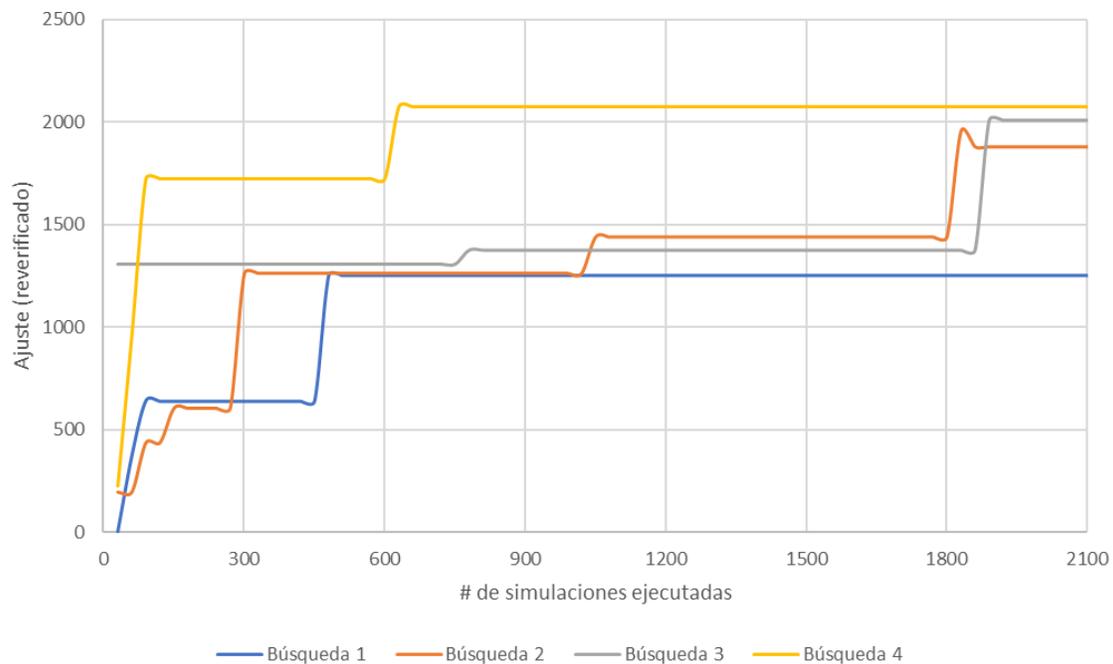
---

Fuente: Elaboración propia

De la misma manera que en el experimento 5 de la sección anterior (sección 6.1.5) en la parametrización inicial se introdujo el condicional de mínimo de dinero para el experimento, para lo cual el parámetro - max\_dinero – fue bloqueado en el valor mínimo posible correspondiente a

900. Respeto del sistema de medición fue tomada la media como medida para la selección de las mejores combinaciones paramétricas, dado que la función objetivo del experimento se orienta maximizar la tendencia en generación de innovaciones, en la misma vía, el sistema de medición para realizar las combinaciones y/o mutaciones de los individuos fue modificado a `MEAN_ACROSS_STEPS` – lo que significa que solo los individuos con las mejores medias de conocimiento de mercado son seleccionados para evolucionar. En relación con los resultados del experimento, la Figura 6.8 presenta el desempeño y evolución de las 4 búsquedas de experimento como se enunció en la sección 6, la gráfica presenta las mejores simulaciones ejecutadas contra los resultados obtenidos en un espacio total de ejecución de 2100 simulaciones ejecutadas.

La gráfica evidencia el mismo patrón consistente de optimización, aun cuando las 4 búsquedas fueron realizadas con combinaciones paramétricas diferentes, concentrando los mejores resultados en un intervalo de entre 1.300 y 2.200 innovaciones, lo que da cuenta de la confiabilidad en los resultados de este experimento. Como aspecto a resaltar, los experimentos 2 y 3 mejoraron significativamente sus resultados después de la simulación 1800, estando bastante cerca de la finalización de ambas búsquedas, este fenómeno no afecta la consistencia de los resultados, simplemente da cuenta de la naturaleza evolutiva del algoritmo de búsqueda, entendiendo que ambos resultados en las búsquedas no constituyen el mejor resultado del experimento. El conjunto de búsquedas entra en equilibrio a partir de la ejecución 1860 desarrollando un patrón constante para todas las ejecuciones; al cierre del experimento los tres mejores resultados corresponden a las búsquedas 4, 3 y 2 con diferencias no superiores a 827 innovaciones.



**Figura 6.5. Evolución de resultados del experimento 6**  
*Fuente: Elaboración propia*

Respecto de las combinaciones paramétricas finales, la Tabla 6.7 presenta los 4 mejores resultados después del proceso de reverificación enunciado en la sección 6, permitiendo de entre las opciones identificar el resultado final o combinación óptima que será sujeto de análisis en la siguiente sección. De las 4 búsquedas, los parámetros más consistentes fueron (i) Total población y (ii) tamaño máximo de emprendimientos, los cuales registraron variaciones menores en su configuración; en contraste los parámetros de (i) tamaño máximo de centros, (ii) mercados\_mundo y (iii) % de afinidad de mercados, presentaron variaciones mayores entre las búsquedas. Como valor final, es seleccionado el de mayor valor de calificación en la última fila denominada – best-fitness-rechecked – el cual corresponde a la búsqueda 4 con una calificación de 2075 innovaciones, 65 por encima de la segunda posición.

**Tabla 6.5.**

*Relación de parámetros y mejores experimentos*

<b>search-number</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
evaluation	2100	2100	2100	2100
total_poblacion*	600	600	900	900
max_dinero*	900	900	900	900
centros_emprendimiento*	16	20	20	18
tamaño_max_ce*	10	20	13	11
%_afinidad_personas*	70	10	50	80
tamaño_max_emprendimiento*	3	2	2	2
mercados_mundo*	71	61	31	71
dinero_centros*	3	8	6	8
%_afinidad_mercados*	90	80	70	40
num-replicates	30	30	30	30
best-fitness-so-far	1329,6	1692,0	2066,6	2174,8
recheck-replications	4	4	4	4
best-fitness-rechecked	1248,1	1954,1	2009,8	2075,5

*Fuente: Elaboración propia*

Para finalizar, la Tabla 6.8 presenta el resumen de las mejores combinaciones paramétricas para cada uno de los experimentos desarrollados, tanto principales (experimento 1 y 2), como complementarios (experimento 3 y 4).

**Tabla 6.6**

*Resumen de mejores combinaciones paramétricas por experimento*

<b>search-number</b>	<b>Exp 1</b>	<b>Exp 2</b>	<b>Exp 3</b>	<b>Exp 4</b>
evaluation	2100	2100	2100	2100
total_poblacion*	800	1000	800	900
max_dinero*	1200	1900	900	900
centros_emprendimiento*	18	16	8	18
tamaño_max_ce*	19	12	20	11
%_afinidad_personas*	70	90	80	80
tamaño_max_emprendimiento*	4	3	3	2
mercados_mundo*	91	71	81	71
dinero_centros*	5	10	3	8
%_afinidad_mercados*	40	30	60	40
num-replicates	30	30	30	30
best-fitness-so-far	828,8	4223,7	613,7	2174,8

recheck-replications	4	4	4	4
best-fitness-rechecked	1000,8	4370,8	637,9	2075,5

*Fuente: Elaboración propia*

## 7. Discusión y conclusiones

La naturaleza de esta discusión emerge como una necesidad por proveer elementos de análisis y reflexión para la comprensión de las interacciones entre las poblaciones de actores vinculados a los ecosistemas de emprendimiento, que generan innovaciones a la manera de macro regularidades. Es decir, que el origen de las reflexiones a presentar deviene principalmente del objetivo principal de esta investigación, con el espíritu complementario de contribuir en el desarrollo de un sistema y políticas orientadas hacia el emprendimiento y la innovación que prohíjen el desarrollo económico del país. En esta vía, las consideraciones desarrolladas en la sección 2 proveen un marco teórico referente para abordar los resultados obtenidos en los cuatro experimentos, abriendo paso a una discusión que desde la subjetividad de este sencillo modelo suministra reflexiones preliminares para el desarrollo del país, sujetas a la necesidad de investigaciones, modelos y experimentos futuros, que validen en mayor cuantía los resultados a exponer.

Respecto de los cuatro experimentos presentados en la sección 6, permitieron atender a los objetivos específicos de la investigación, al caracterizar las combinaciones paramétricas óptimas<sup>16</sup> para la maximización de innovaciones exaptativas y adaptativas. Estas combinaciones son la fuente principal para el desarrollo de esta sección al proveer una mejor posible configuración de parámetros de operación del ecosistema de emprendimiento en la simulación, y a partir de ello, habilitar el desarrollo de reflexiones respecto del ecosistema real tanto en su estructura y

---

<sup>16</sup> En relación con el sistema de búsqueda de las soluciones, cabe resaltar que el propósito de cualquier algoritmo genético de optimización como el provisto por la herramienta – Behavior Search – de Netlogo, se orienta a la búsqueda de las mejores soluciones respecto del espacio total de posibles soluciones, para lo cual, la solución óptima identificada en cada experimento corresponde con una solución mejor, y no necesariamente la única.

desempeño como en el sistema y conjunto de elementos que lo integran. Para el caso de los experimentos vinculados a la maximización en las innovaciones exaptativas, los resultados sugieren una principal atención en aspectos como (i) la población, (ii) los centros de emprendimiento, (iii) la afinidad de los agentes, (iv) la efectividad en la emergencia de las innovaciones exaptativas y (v) el capital de inversión; los demás experimentos vinculados a la maximización en las innovaciones adaptativas e innovaciones en general, sugieren atención en aspectos como (i) el papel que desempeñan las innovaciones adaptativas en el modelo, (ii) su desempeño y comportamiento, (iii) el papel que desempeñan los centros de emprendimiento, y (iv) el capital de inversión. Cada uno de los aspectos aquí reseñados, será desarrollado en detalle a lo largo de las secciones 7.1 y 7.2.

En términos de la estructura para la presentación de la discusión, se propone una clasificación de reflexiones dividida en (i) el análisis de las innovaciones exaptativas y (ii) el análisis de las innovaciones adaptativas, donde para ambos casos el análisis comparado de resultados entre experimentos es considerado, al aportar elementos de interés para la discusión general. Al interior de cada discusión se presenta un desarrollo en tres niveles: (i) el nivel Macro, (ii) el nivel Micro, y (iii) y relacional de la simulación; lo cual además de ser congruente con la naturaleza estructural de los modelos de simulación basada en agentes (Squazzoni, 2012), permite segmentar las reflexiones a desarrollar desde el contexto. En el nivel macro, se desarrollan consideraciones vinculadas a la definición y estado actual de la política pública y operatividad del ecosistema de emprendimiento, lo cual resulta congruente con los intereses expuestos por Innpulsa (2017b) respecto de la necesidad de *“Conocer cuál es el impacto del emprendimiento y la innovación en el entorno como cuestión apremiante para direccionar las decisiones que, desde el gobierno*

*nacional, se tomarán para apoyar este tipo de iniciativas (p.13).* En el nivel micro, desde los actores y colectividades, las reflexiones resultan también de interés, por cuanto el conjunto de elementos, acciones, decisiones e interacciones de los actores o agentes al interior del ecosistema simulado de emprendimiento resultan determinantes en la calidad de su desempeño. En esta vía, Innpulsa (2017b) resalta la necesidad de explorar este nivel al mencionar que *“ofrecer una lectura del comportamiento de las Startups en el ecosistema de emprendimiento en Colombia resulta urgente, pues este año (2016) se cumple una década de la implementación de la Ley 1014” (p.13)*, complementando sus reflexiones sobre el entorno y su impacto en el sistema.

Para finalizar, en atención a las inquietudes de Innpulsa (2017b) expuestas previamente, desarrollar una discusión basada exclusivamente en las combinaciones paramétricas óptimas de cada experimento solo da cuenta de los resultados en la ejecución del modelo, para lo cual se integró una capa adicional de análisis, enfocada en la valoración del desempeño del modelo, respecto de los parámetros y espacio temporal establecido para cada experimento, con el objetivo de considerar detalles asociados al comportamiento de los agentes, las colectividades y el entorno que desde las combinaciones paramétricas óptimas identificadas en cada experimento, resultarían imposibles de observar.

A fin de establecer un lenguaje común al desarrollo de la discusión, es tomado como referente de clasificación de innovaciones, las categorías presentadas por Mastrogiorgio & Gilsing (2016) y Andriani & Cattani (2016), de (i) innovaciones exaptativas y (ii) innovaciones exaptativas, para referirse en el primer de los casos al conjunto de innovaciones que emergen resultado de la

ejecución de un mecanismo exaptativo, y en el segundo caso a innovaciones que emergen de un mecanismo adaptativo.

### **7.1. Maximización de innovaciones exaptativas en el ecosistema de emprendimiento**

Como fue descrito a través de las secciones 2 y 5, las innovaciones exaptativas pueden ser consideradas como un tipo particular de innovación que surge como efecto paralelo a la introducción de novedad en el mercado, o a la acumulación de alternativas de desarrollo al interior de las firmas (Bonfati & Villani, 2013); contrario a las innovaciones adaptativas donde la correspondencia con la función y objetivo traza un camino predefinido (Mastrogiorgio & Gilsing, 2016), de ahí la naturaleza emergente de las innovaciones exaptativas respecto de las demás formas de innovación descritas en este documento. Los resultados de este primer experimento evidencian una parametrización que provee perspectivas útiles para el desarrollo de mejoras estructurales en el ecosistema de emprendimiento y sus elementos a fin de prologar el incremento y la aceleración en la emergencia de estos tipos de innovación.

#### **7.1.1. Población e innovaciones exaptativas**

Como primer aspecto para maximizar la emergencia de innovaciones exaptativas, la tabla 6.6 evidencia la necesidad de una población alta de agentes, que a la manera de una cadena de eventos, corresponde con un número mayor de StartUps disponibles y de ellas una mayor cantidad de innovaciones que emergen de su interacción en la simulación. Si bien estas consideraciones parecerían no representar un hallazgo significativo de esta investigación por cuanto describen una relación lineal entre la proporción de población y el número de innovaciones exaptativas, si constituyen una evidencia que complementa el trabajo de West et al. (2007) discutido en la sección 2.6 respecto de los superorganismos urbanos y como la innovación en las ciudades desarrolla un

comportamiento inverso al modelo de metabolismo de Kleiber (1932). Es decir, que como condición para el incremento en la emergencia de exaptaciones, el volumen de actores vinculados al ecosistema de emprendimiento resulta relevante. En adición, esta consideración se alinea con la noción de – mas es diferente – presentado por Anderson (1972), donde demuestra como la emergencia de algunas propiedades en los sistemas esta condicionada a la presencia de una masa crítica de componentes, para el caso de los ecosistemas de emprendimiento un mayor número de actores. Por último, La correspondencia teórica y empírica del modelo respecto de la realidad, permite adicionar el comportamiento de la población anteriormente descrito, como evidencia complementaria de validación del modelo.

La necesidad provista en el experimento, de una alta población de actores vinculados al ecosistema de emprendimiento, contrasta con la realidad del país donde a pesar de tener una de las TEA o Tasas de Actividad Empresarial más altas del mundo, 27.4% para el 2016 (Buevas et al., 2017), casi 10 puntos por encima de la media latino-americana (con un 18,8%), la aceptación sociocultural hacia la creación de firmas ha venido decreciendo desde el 2012 tendiendo su máxima caída en el 2016 con un valor de 66%, 5 puntos por debajo en comparación con el periodo anterior. Es decir que, si bien el país posee un considerable número de personas vinculadas al crecimiento y desarrollo de nuevas firmas, progresivamente el número de personas que ven el emprendimiento como una alternativa de desarrollo profesional es menor, lo cual, en términos de las proyecciones del experimento afecta negativamente la emergencia de nuevas innovaciones exaptativas en el mercado.

En esta vía, una de las principales consideraciones a partir de la parametrización propuesta, se orienta garantizar una población emprendedora creciente mediante el rediseño de las políticas en pro del emprendimiento, enfocadas principalmente en caracterizar al emprendimiento como una profesión en el tejido social colombiano. Aun cuando ya se cumplió una década de la implementación de la Ley 1014 2006 o ley de emprendimiento, algunas instituciones de educación preescolar, básica, básica primaria, básica secundaria, y media han tenido dificultades en la aplicación de la ley (Buelvas et al., 2017), entre otros aspectos, porque el diseño de sus programas no estimula aspectos como la creatividad, la iniciativa personal, la economía de mercado y la creación de firmas. En adición, el comportamiento negativo de la aceptación hacia emprender, junto con la tendencia decreciente del número de empresarios potenciales desde el 2012, el cual cayó a su mínimo histórico en el 2016 con un 64%, lleva a cuestionar la efectividad y suficiencia de las leyes respecto de la realidad y necesidades de los emprendedores en el país, junto con afectar el incremento en el número de emprendedores potenciales en el mediano plazo.

Paralelamente, y tal y como lo reseña McClelland (1987), la apropiación del emprendimiento como alternativa de desarrollo profesional no solo proviene de la necesidad de poder de los individuos, sino que también existen otros motivadores y otras competencias. Es decir, que la intención por emprender debe venir acompañada de un conjunto de habilidades útiles para el crecimiento sostenible del StartUp, junto con ciertas condiciones de entorno que favorezcan el desarrollo del mismo. Dada esta reflexión, resulta loable considerar que la transformación socio cultural de los emprendedores en el país en los últimos 10 años, le ha hecho ver a estos, que la promesa de ingresos superiores a través de la creación de emprendimientos implica la apropiación de un conjunto de conocimientos, habilidades y experiencias que, de no poseerlos, aumentan la

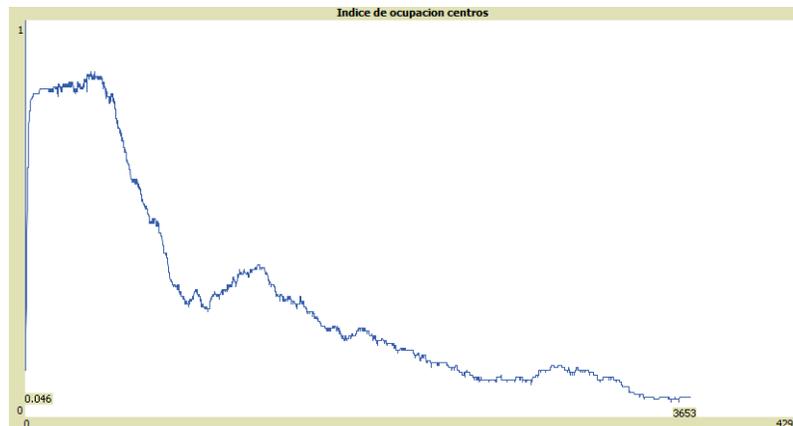
probabilidad de fracaso de los nuevos negocios. Así, la inclusión sistemática de esquemas de formación en emprendimiento en todos los niveles y estructuras educativas, categorizaría al emprendimiento como una alternativa de desarrollo profesional entre los ciudadanos, revirtiendo en el largo plazo la tendencia regresiva en la aceptación hacia el emprendimiento que se observa en la población adulta colombiana (Buelvas et al., 2017).

### **7.1.2. Centros de emprendimiento e innovaciones exaptativas**

Como segundo aspecto, la parametrización sugerida en el experimento 1 da cuenta adicionalmente de un escenario con un alto volumen de centros de emprendimiento, cada uno, con una amplia capacidad de vinculación de StartUps. Como se mencionó al inicio de la sección 6 el parámetro – centros\_emprendimiento – fue el único configurado con un límite de 0, es decir que uno de los escenarios posibles de resultado presentaría un ecosistema de emprendimiento donde los centros de emprendimiento no son necesarios para la maximización de las innovaciones exaptativas. Los resultados de la tabla 6.2 evidencian que en ninguna de las 4 búsquedas realizadas un escenario sin centros de emprendimiento procura la maximización de las innovaciones exaptativas, de hecho, en dos de ellas el número de centros de emprendimiento es mayor al 50% del total posible. Esta evidencia se alinea con las reflexiones realizadas por Goodwin et al. (2014) respecto de la importancia de los centros de emprendimiento en el buen desempeño de los ecosistemas de emprendimiento.

Al ejecutar la simulación en un periodo de diez años bajo estos parámetros, la figura 7.1, evidencia cómo después de dos años de ejecución, el uso de los centros de emprendimiento presenta una tendencia decreciente que culmina con una tasa de uso inferior al 1% una vez la mayor parte de los StartUps han hecho uso de estas estructuras de apoyo. Simulaciones paralelas

donde los StartUps cuentan con la facultad de acceder a más de un centro, y la población total de emprendedores, ingenieros y mixtos crece cada año, fueron ejecutados experimentando el mismo patrón, la única variación se registra en el tiempo de simulación, donde al agregar estas características el fenómeno se evidencia el patrón de decrecimiento después de 5 años.



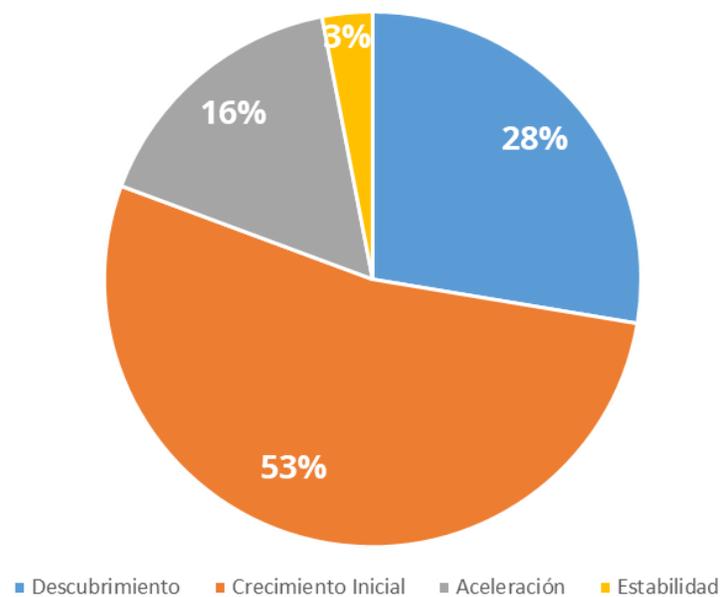
**Figura 7.1. Evolución de uso de los centros de emprendimiento**  
*Fuente: Elaboración propia*

Como conclusión preliminar de este comportamiento, resulta cuestionable la necesidad de mantener los centros de emprendimiento en el ecosistema después de largo periodos de tiempo, donde la maduración estructural de los StartUps y del ecosistema en general, hace que este tipo de organizaciones pierda relevancia. Sin embargo, la descripción presentada por (Goodwin et al., 2014; Guerrero & García, 2013; Quiroga et al., 2014) respecto de los elementos integradores del ecosistema de emprendimiento, dan cuenta de un conjunto de actores o unidades posteriores al proceso de aceleración, que de la misma manera que los centros de emprendimiento resultan vitales para la sostenibilidad de los StartUps en el largo plazo. Esta consideración estructural, transforma la conclusión presentada, la disminución progresiva en el uso de los centros de emprendimiento no significa que estos pierden importancia en el tiempo dentro del ecosistema de emprendimiento,

sino por el contrario que la maduración del mismo exige el desarrollo de mayores niveles de especialización en el conjunto de servicios y estructuras de apoyo que reciben los StartUps en cada una de las etapas posteriores a la aceleración. Parfraseando a Vesga, Rodriguez, Schnarc, & García (2015) una de las principales limitantes en el desarrollo de los StartUps en el país, es la uniformidad en los sistemas de asistencia, para lo cual, y como medida de choque en el corto plazo, resulta necesaria la creación de unidades o instituciones especializadas en cada una de las fases de desarrollo de los StartUps.

En adición a lo anterior, la necesidad de un alto volumen inicial de centros de emprendimiento provista en los resultados de experimento 1 (Ver tabla 6.6), contrasta con la distribución y número de StartUps disponibles a 2016 en el país (ver Figura 7.2). Según el informe de mapeo del ecosistema de emprendimiento de Colombia 2016 (Innpulsa, 2017b), el país cuenta con un total de 2670 StartUps identificados de los cuales 738 se encuentran en etapa de descubrimiento, 1416 en crecimiento inicial, 435 en aceleración y 81 en estabilidad. En esta vía, los resultados de experimento contrastan con el estado de distribución de StartUps, dado que el conjunto de firmas en crecimiento inicial es 3.25 veces más la cantidad de firmas aceleradas. En el informe GEM Colombia 2014, (Gómez et al., 2016) indican que alrededor de 900.000 personas se involucran anualmente en la puesta en marcha de un nuevo negocio, lo cual implica una demanda considerable de servicios de estos nuevos emprendedores, una relación sencilla entre el número de personas que actualmente emprenden, 900.000, y el número de instituciones de apoyo al emprendimiento de la ciudad (250), indica que cada institución debería atender en promedio a 3.600 personas anualmente.

Dadas estas consideraciones, la cantidad actual de centros de emprendimiento disponibles en el país, no es suficiente para cubrir efectivamente las necesidades de desarrollo del conjunto de StartUps en etapa de crecimiento inicial, los cuales en el corto plazo demandaran servicios de apoyo al pasar a una fase de aceleración. De no conseguir estos servicios en suficiencia, además de verse comprometida la sostenibilidad en el largo plazo de estos StartUps en una fase donde cualquier factor que genere inestabilidad puede comprometer la continuidad del mismo, se puede afectar la estabilidad del ecosistema de emprendimiento en términos del número de StartUps que lo integran, más aun cuando en la actualidad “los niveles de discontinuidad empresarial presentan una tendencia creciente de 6% en 2014 a 8% en 2016” (Buelvas et al., 2017, p.7). Así, resulta inminente y necesario, la creación y diversificación de estructuras de apoyo en los siguientes niveles de desarrollo resulta crítica para la continuidad del ecosistema.



**Figura 7.2. Distribución de StartUps por etapa en Colombia**  
Fuente: a partir de Innpulsa (2017b)

Dado el estado incipiente del ecosistema de emprendimiento en el país, el camino propuesto a partir de los resultados del modelo, se alinea con las reflexiones del informe GEM – Colombia 2016 respecto de la necesidad de seguir promoviendo el establecimiento de Centros Especializados para el Desarrollo Empresarial en todas las regiones de Colombia, dotados de expertos que acompañen a los empresarios en cada una de las fases del proceso empresarial (Buelvas et al., 2017), así, bajo una proyección de 5 años, la primera mitad del quinquenio se debe enfocar en la intensificación de centros de emprendimiento para la aceleración de StartUps, garantizando un volumen elevado de nuevas firmas que, una vez aceleradas puedan ser sostenibles en el tiempo. En la segunda mitad, dado que la demanda por aceleración disminuye, el camino a seguir se orienta a dos iniciativas, 1) La transformación o adición de nuevos servicios especializados de apoyo por parte de los centros de emprendimiento, enfocados al logro de sostenibilidad de largo plazo, y 2) el desarrollo de políticas e instituciones de orden gubernamental, que se enfoquen en el apoyo a los StartUps en sus etapas de posaceleración.

### **7.1.3. Afinidad e innovaciones exaptativas**

Un segundo aspecto de interés deviene de los parámetros asociados a afinidad de personas y mercados, tal y como se describió en la sección 5.3, ambos parámetros definen las reglas mínimas de relacionamiento entre emprendedores, ingenieros y mixtos, las cuales determinan su probabilidad de asociación o no. Así, los resultados del experimento indican que la mejor combinación de perfiles para prohijar la emergencia de innovaciones exaptativas requiere una mezcla entre alta afinidad de personas con afinidad media entre mercados (ver Tabla 6.6). Esta configuración de parámetros describe un escenario donde la similitud en el nivel de conocimiento de los actores es altamente determinante para la creación de un emprendimiento. En el contexto de la simulación, un agente (emprendedor, ingeniero o mixto) con un perfil de conocimiento alto,

no crea un emprendimiento con un agente de conocimiento bajo, aun cuando este tenga una cantidad elevada de dinero.

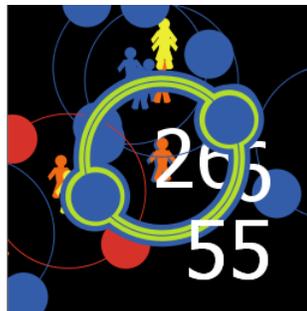
Además de la evidencia obtenida en Wayra (Ver Anexo 1) respecto de la preferencia de los emprendedores por socios con un alto nivel de conocimiento por encima del dinero disponible para inversión en capital de riesgo, buena parte de los estudios conducidos en el ecosistema de emprendimiento en Colombia dan cuenta de esta configuración, la cual se encuentra a su vez vinculada al éxito de los StartUps. El informe de mapeo de ecosistemas de emprendimiento en Colombia (Innpulsa, 2017b) afirma que:

Hasta el 2014, el nivel educativo de las personas que han emprendido con éxito, además del conocimiento técnico, tiene estudios tecnológicos (28,2%), universitario (28,2%) y de posgrado (28,2%). Lo anterior permite inferir que el nivel educativo de los emprendedores en etapas incipientes de desarrollo influye en la posibilidad de tener éxito en su proyecto emprendedor (p.33).

En la misma línea, el informe GEM Colombia 2013, Gómez et al. (2016) señalan reiterativamente una relación directa entre el nivel educativo de un emprendedor y la calidad o solidez de su proyecto empresarial, al igual que la versión 2016 del reporte (Buelvas et al., 2017) donde se indica que para este año, “la propensión hacia la creación de firmas nacientes y nuevas (TEA) de colombianos con postgrado fue del 33%, mientras que la propensión de colombianos sin educación primaria fue del 6% “(p.7). Por su parte, en el informe de emprendedores en crecimiento, Vesga et al. (2015) afirman que *“la mayoría de los emprendedores encuestados fueron personas que habían realizado estudios en áreas técnicas, es decir, “la mayoría de emprendedores ha podido dar vida a sus productos innovadores y diferentes, debido a su conocimiento técnico”* (p.31). Por último, y respecto de los principales perfiles de los

emprendedores, Vesga et al. (2015) indican “*las áreas de conocimiento más sobresalientes en el contexto emprendedor están en las carreras de ingenierías y afines, seguidas por las áreas de administración y economía*” (p.87).

Para contrastar estas reflexiones con el comportamiento del modelo, se ejecutó una simulación por 3650 días (diez años) partiendo de la combinación paramétrica óptima obtenida del experimento 1, con el propósito de identificar un emprendimiento con elevados niveles de innovación tanto exaptativas como adaptativas. Aleatoriamente, se identificó el “emprendimiento 919” el cual como lo presenta la figura 7.3 es un emprendimiento que cuenta con 55 aciertos por innovación, lo integran un total de 2 agentes (El emprendedor 283, y el ingeniero 254), y adicionalmente registra haber participado alguna vez en el proceso de aceleración de uno de los centros de emprendimiento disponibles dado su color azul.



**Figura 7.3. Emprendimiento con alto nivel de innovación**

Fuente: Elaboración propia

Al analizar esta colectividad y los agentes que la integran, se evidencia como efectivamente ambos agentes cuentan con características de conocimiento similares (ver figura 7.4), por parte del emprendedor, su nivel de conocimiento emprendedor es 5, y de igual manera, para el caso del ingeniero su nivel de conocimiento ingenieril es 3, lo cual resulta acorde con las restricciones del parámetro de afinidad establecido. Sin embargo, un aspecto adicional resalta a esta configuración,

por cuanto ambos perfiles se encuentran por encima de la media de perfiles de conocimiento disponibles en la simulación. La calidad técnica de los agentes, o su grado de conocimiento tanto ingenieril como emprendedor, evidencia una relación directa con la capacidad para la generación de innovaciones en los StartUps, si se compara con otros emprendimientos disponibles en la simulación, donde el nivel de conocimiento es menor afectando el número de innovaciones exaptativas, que en buena parte de los casos es cercano a 0.

Perfil emprendedor 283		Perfil Ingeniero 254	
color	25	color	105
heading	223	heading	104
xcor	38.743325336455	xcor	38.809618385297
ycor	5.3060783568469	ycor	5.3371051719201
shape	"person"	shape	"person"
label	" "	label	" "
label-color	9.9	label-color	9.9
breed	emprendedores	breed	ingenieros
hidden?	false	hidden?	false
size	1	size	1
pen-size	1	pen-size	1
pen-mode	"up"	pen-mode	"up"
dinero	1017	dinero	982
tope_minimo	31.856228909881	tope_minimo	7.0077847848903
empresa	112	empresa	112
fitness	0.778	fitness	.8046666666666666
mercado_conocimiento	21.419750933799	mercado_conocimiento	26.301628310578
index_mercado_conocimiento	[89 88 51 79]	index_mercado_conocimiento	[89 57 49 52]
aciertos_mercados	0	aciertos_mercados	0
tipo	"emprendedor"	tipo	"ingeniero"
aciertos	0	aciertos	0
conocimiento	5	conocimiento	3
conocimiento_e	[7 5 1 3 9]	conocimiento_i	[8 2 1]

**Figura 7.4. Descripción de perfiles de agentes pertenecientes al emprendimiento 919**

Fuente: Elaboración propia

De cara al ecosistema de emprendimiento, la distribución de perfiles de emprendedor reseñada previamente ha sido resultado no de la formación de políticas de largo plazo que garanticen la profesionalización de los emprendedores, sino por el contrario de la competitividad propia del ecosistema y el entorno de globalización del país, que exige profesionales más capacitados para asumir las exigencias y dinámicas del entorno de mercado actual. Buena parte del corazón de la ley 1014 o ley de emprendimiento se enfoca en el desarrollo de estructuras para la creación de una

cultura emprendedora en el país, lo cual resulta positivo, pero insuficiente si se contrasta con la necesidad de fomentar y fortalecer el desarrollo técnico y especializado de los diferentes perfiles requeridos para el desarrollo de StartUps exitosos. En un análisis comparado con los principales ecosistemas de emprendimiento del mundo, como media, cada uno de estos demanda entre 60.000 y 90.000 profesionales vinculados a ramos de tecnología (Herrmann et al., 2015), cerca de la mitad de empleos totales que demandó el sector de minería en todo el país para el 2016 (ANDI, 2017). Esta cifra evidencia la brecha existente en el ecosistema del país, aun cuando las instituciones universitarias han realizado una importante tarea en la formación de emprendedores (Innpulsa, 2017b), pues su nivel de cobertura se encuentra sujeto a los límites de la población estudiantil que puede acceder a educación superior, la cual corresponde al 48,5% del total de egresados de educación básica (Malaver, 2016). En resumen, la creación de políticas e instituciones enfocadas en la formación técnica y especialización de los emprendedores en sus diferentes perfiles, resulta crítico para ampliaría considerablemente la probabilidad de StartUps exitosos y duraderos en el ecosistema.

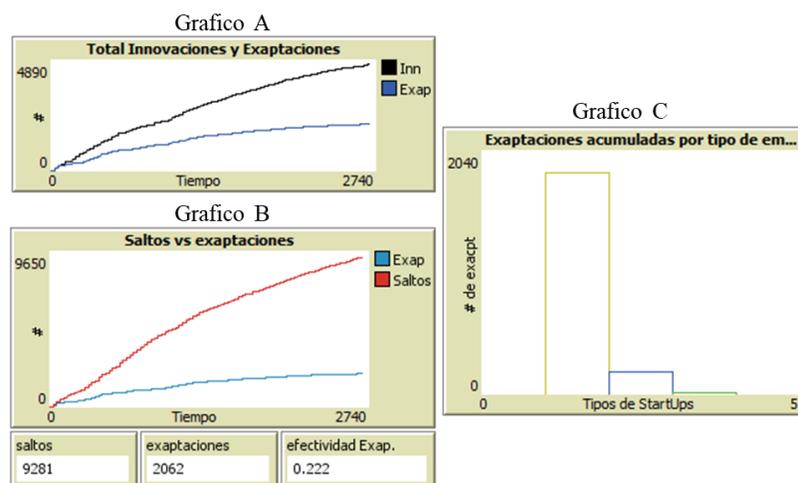
Respecto de la afinidad del mercado, el modelo sugiere una configuración media, donde los actores comparten en su conocimiento algunos mercados en común, pero en mayor proporción conocen mercados diferentes. Si bien no se identificó evidencia en la literatura asociada al rol del conocimiento y experiencia de los emprendedores en los mercados, los resultados del modelo permiten inferir dos aspectos a fin de garantizar la emergencia de innovaciones exaptativas i) la necesidad de compartir conocimiento común de mercados entre los actores que integran un emprendimiento, por cuanto el lenguaje común junto con las experiencias individuales de cada miembro del StartUp, puede enriquecer aspectos como el diseño del mínimo producto viable y la

asertividad en la comprensión de necesidades del mercado, y (ii) la necesidad de conocimientos disimiles sobre mercados de los diferentes entre actores, lo cual contribuye con la apropiación de características propias de estos mercados a aquellos que cada emprendimiento tiene como mercado objetivo.

#### **7.1.4. Efectividad en la emergencia de innovaciones exaptativas**

Paralelamente, se realizó una revisión del desempeño de la simulación ejecutada en lo que respecta a la efectividad en la emergencia de innovaciones exaptativas, evidenciando varios aspectos de interés de la simulación. En primera instancia, la Figura 7.5 – gráfico A – compara el total de innovaciones de la simulación respecto del total de innovaciones exaptativas, evidenciando un total de 4720 innovaciones de las cuales el 45% proviene de innovaciones exaptativas, este resultado sugiere que 4 de cada 10 innovaciones que emergen en la simulación, lo hacen a la manera de innovaciones exaptativas. Si bien la proporción de innovaciones adaptativas es mayor, las innovaciones exaptativas guardan una proporción considerable, y contributiva para todo el sistema, de hecho, una tasa del 45% de innovaciones puede marcar la diferencia entre la sostenibilidad o no de un ecosistema de emprendimiento. Otro aspecto a resaltar tiene que ver con el comportamiento creciente de ambas curvas (Ver figura 7.5), lo cual evidencia un incremento proporcional en el tiempo de las innovaciones exaptativas y de las innovaciones en general, es decir que, a lo largo de la simulación, las innovaciones exaptativas emergen de manera constante, aun cuando las condiciones del entorno se transformen a partir de la interacción de los StartUps. Estos resultados dan cuenta de la capacidad que tienen las innovaciones exaptativas para enriquecer favorablemente el desempeño de los StartUps en términos de su capacidad para innovar en un entorno dinámico.

La Figura 7.5 – gráfico B – incrementa el detalle en el análisis realizado con respecto al desempeño de las innovaciones exaptativas en la simulación, además de registrar un patrón de crecimiento en el tiempo también creciente. Como se observa en este gráfico, la tasa de efectividad de innovaciones exaptativas es del 22% lo que significa que el número de intentos por exaptar es 4 veces mayor en comparación con el número aciertos obtenidos, evidenciando la dificultad que enfrentan los StartUps en el ecosistema para lograr innovaciones exaptativas efectivas aun cuando las condiciones de entorno y configuración de los StartUps resulten óptimas para este objetivo<sup>17</sup>. A fin de verificar este comportamiento, se replicó la simulación varias veces y con el mismo tiempo de ejecución, para todos los casos emergió el mismo patrón de manera consistente, con resultados de entre el 18% y el 22% de efectividad; este patrón lleva a concluir que la escasez en la emergencia de innovaciones exaptativas se constituye como un aspecto estructural del ecosistema de emprendimiento y no coyuntural a su configuración.



**Figura 7.5. Desempeño de innovaciones exaptativas en el modelo después de 3650 días**  
Fuente: Elaboración propia

<sup>17</sup> Se habla de configuraciones óptimas, por cuanto las configuraciones paramétricas con las cuales fue ejecutada la simulación, corresponde con las identificadas como óptimas en el experimento 1.

El hallazgo de este aspecto estructural de la innovación y del ecosistema resulta un aporte significativo de esta tesis al campo, por cuanto complementa las aproximaciones de Bonifati, (2012) respecto de la construcción de una teoría de la innovación basada en el estudio de las exaptaciones, además de soportar con evidencia el conjunto de reflexiones desarrolladas por Arthur (2009), Wagner (2011, 2015) y Ziman (2000) respecto de la innovación como fenómeno evolutivo. Aun cuando en condiciones óptimas solo 2 de cada 10 intentos por exaptar resulten efectivos, esta proporción menor puede representar la diferencia entre la sostenibilidad del ecosistema y su extinción. Tal y como se presentó en este documento en las secciones 2 y 4, una de las características de los sistemas vivos converge en su operación crítica, o al límite del caos, donde pequeñas variaciones en la estructura de parámetros representan cambios significativos en su desempeño.

El último gráfico (Ver figura 7.5 – Gráfico C –), presenta el acumulado de innovaciones exaptativas que emergieron durante la simulación, distribuido en los tipos de emprendimiento disponibles. Como se observa, la mayor proporción emerge en los StartUps amarillos, es decir en aquellos que se encuentran en proceso de aceleración al interior de algunos centros de emprendimiento, seguido por los azules, que corresponden a aquellos que alguna vez han pertenecido a un centro, y por último, con un número cercano a cero el conjunto de StartUps verdes que nunca ha pertenecido a un centro. Esta distribución evidencia la importancia mayor de los centros de emprendimiento en la emergencia de innovaciones exaptativas, lo cual complementa el conjunto de reflexiones realizadas previamente en esta sección vinculadas a la importancia de fortalecer este tipo de estructuras no solo en número y en capacidad, sino a lo largo de las etapas

en el proceso de emprendimiento. En línea con estos resultados, el informe GEM Colombia 2016 (Buelvas et al., 2017) recomienda “fomentar la creación y el fortalecimiento de Centros de Desarrollo Empresarial como los Centros Alaya de Cali, los Centros Cedezo de Medellín, Programas como Bogotá Emprende y Programas que se gestan en los Centros de Emprendimiento de las Instituciones Colombianas” (p.8).

### **7.1.5. Dinero e Innovaciones exaptativas**

Como aspecto final a discutir, tal y como se describió en la sección 5.2.2, fue desarrollado un experimento adicional relacionado con la emergencia de innovaciones exaptativas, el cual incluye como restricción el dinero disponible en la simulación. Esto, a partir del importante rol que el total de informes sobre emprendimiento e innovación en el país atribuyen al capital de inversión en relación con el éxito o fracaso de los StartUps. El reciente estudio de ¿por qué fracasan los emprendimientos en Colombia? Pardo & Alfonso (2015) resaltan este aspecto, al presentar un conjunto de reflexiones relacionadas con las causas o situaciones por las cuales los StartUps en Colombia acaban fracasando. Del total de factores, la calificación más alta la reciben los aspectos financieros con un 22.9%, de los cuales un 21.9% de los emprendedores reporta “no obtener ingresos suficientes a partir del emprendimiento para subsistir”, el 18.8% argumenta problemas de financiamiento y un 17.1% indica un excesivo nivel de gastos operativos. En esta misma vía, el informe GEM Colombia 2016 valora con una calificación de 2.2 sobre 5.0 el componente de financiación empresarial, indicando que el país aún no cuenta con suficientes fuentes de financiación para el emprendimiento, como lo son ángeles inversionistas, subsidios públicos, crowdfunding, entre otros (Buelvas et al., 2017). Paralelamente, Innpulsa (2017b) menciona que en lo referente a financiación, se ha observado que el desconocimiento de los emprendedores junto

con el rechazo al sector financiero son las principales causas para que los emprendedores no accedan a estos medios de subvención.

Dado este panorama, una proporción mayor de emprendedores termina por financiar sus proyectos con capital propio, según Pardo & Alfonso (2015), el 67% de los emprendimientos encuestados en su estudio surgieron con recursos propios, en un escenario donde el 8% de los colombianos son inversionistas, y el 80% ha invertido menos de 5 millones de pesos en StartUps de amigos, familiares, compañeros de trabajo (Buelvas et al., 2017). Al respecto, el informe GEM Colombia en su versión 2014 concluye:

“los emprendedores usualmente recurren a sus tarjetas de crédito, préstamos personales, o familiares, para poner en marcha su idea de negocio. Este rasgo puede deberse a que el nivel de bancarización en 2011 fue del 62%, demostrando que es un aspecto en el que aún debe mejorarse, especialmente en lo que respecta al uso del crédito frente a las cuentas de ahorros (Gómez et al., 2016, p.82).

Al contrastar los resultados del experimento 1 (sección 6.1.1) y 3 (sección 6.2.1), se evidencia el efecto de dinero en el desempeño de las innovaciones exaptativas. La tabla 7.1 presenta el comparativo de las combinaciones paramétricas óptimas para los dos experimentos, junto con el número de innovaciones exaptativas obtenidas para cada escenario. Como se observa, la restricción de dinero compromete la emergencia de innovaciones exaptativas en un 37% en comparación con el experimento 1, aun cuando el experimento 3 expone algunas medidas compensatorias al incrementar el nivel de afinidad de las personas y el ajuste en el número y tamaño de los centros de emprendimiento. La evidencia del este segundo experimento, resalta la capacidad de catalización del dinero en términos de la emergencia de innovaciones, al impactar

una tercera parte del total de innovaciones exaptativas obtenidas en el experimento, lo cual puede representar la diferencia entre un desarrollo incremental y solido de un ecosistema de emprendimiento y su progresivo fracaso.

**Tabla 7.1**

*Comparativo combinaciones paramétricas experimentos 1 y 3*

<b>search-number</b>	<b>Exp 1</b>	<b>Exp 3</b>
evaluation	2100	2100
total_poblacion*	800	800
max_dinero*	1200	900
centros_emprendimiento*	18	8
tamaño_max_ce*	19	20
%_afinidad_personas*	70	80
tamaño_max_emprendimiento*	4	3
mercados_mundo*	91	81
dinero_centros*	5	3
%_afinidad_mercados*	40	60
num-replicates	30	30
best-fitness-so-far	828,8	613,7
recheck-replications	4	4
best-fitness-rechecked	1000,8	637,9

*Fuente: Elaboración propia*

Tal es el impacto del dinero en estos ecosistemas, que el reciente reporte global de ecosistemas de emprendimiento (Herrmann et al., 2015) da cuenta del papel que cumplen las facilidades en financiación y disponibilidad de capital de inversión, en el desarrollo exitoso de los cinco primeros ecosistemas de emprendimiento del mundo, los cuales son (i) Silicón Valey, (ii) Nueva York, (iii) Los Ángeles, (iv) Boston y (v) Tel Aviv. Aun cuando cuatro de ellos pertenecen a Estados Unidos, todos registran un capital individual de inversión superior a 2.256 billones de dólares (Herrmann et al., 2015), para el caso de Silicón Valey, Herrmann et al. (2015) reportan una media de capital

semilla de entre 900 y 950 mil dólares, y para el caso de los emprendimiento serie A, o de alto impacto, la media de inversión es entre 6.5 y 7 millones de dólares, lo que contrasta con el desempeño del ecosistema de emprendimiento colombiano, donde solo hasta hace unos meses se logró el máximo de inversión en la historia del emprendimiento el país, con una inversión de 6.2 millones de dólares en la empresa Mercadoni por parte de un fondo de inversión internacional (Dinero, 2017). En adición Silicón Valey cuenta con 14.000 de los 19.000 StartUps en tecnología del mundo y concentra 1.7 de 2,0 millones de trabajadores en tecnología en el mundo, de hecho, tres de los StartUps más relevantes de este ecosistema: (i) Apple, (ii) Google y, (iii) Facebook, cuentan con un valor en el mercado superior a 1.5 trillones, y emplean a más de 165.000 personas alrededor de mundo (Herrmann et al., 2015).

SI bien Silicón Valley representa el ecosistema más importante del planeta, ecosistemas como el de Bangalore, Boston, Ámsterdam y Seattle, entre otros, han mejorado sus posiciones progresivamente en el reporte vinculado al crecimiento en el capital de inversión de los mismos, además de contribuir significativamente al crecimiento económico de sus países de origen. Para el caso de Bangalore el crecimiento de inversión en el ecosistema al 2014 presenta un incremento de 4 veces el valor del año anterior, seguido de Boston con crecimiento 3.7 veces superior, Ámsterdam duplicando su crecimiento (Herrmann et al., 2015). En los tres casos, las cifras de inversión en capital semilla oscilan entre los 350 y 850 mil dólares, y para emprendimiento Serie A entre los 4 y 7 millones de dólares, lo que explica por qué estos ecosistemas también hacen parte de la lista de mas importantes del mundo. Al reflexionar sobre los principales retos que el ecosistema de emprendimiento del país o de sus regiones debe desarrollar, a fin de acercarse en

términos de desempeño a los mejores ecosistemas del mundo, emergen tres consideraciones relacionadas con los resultados del experimento 1 y las observaciones de Herrmann et al. (2015).

La primera gira entorno a la inversión, dados los bajos niveles de inversión local en StartUps (Pardo & Alfonso, 2015), resulta crítico el desarrollo de una política que facilite las condiciones para el ingreso de inversión extranjera, desde mercados, donde la aversión al riesgo en este tipo de estructuras sea menor, y la intención por invertir sea mayor, pues aun cuando los principales ecosistemas concentran el mayor nivel de inversión, los fondos, y demás estructuras para la financiación de los StartUps, siempre están en la búsqueda de las mejores condiciones competitivas y de hospedaje posibles para depositar sus recursos. La segunda reflexión gira en torno a la normativa, alineado con las conclusiones de la primera mitad de esta sección, los marcos regulatorios y políticas actuales respecto del fomento al emprendimiento no son suficientes para soportar y promover el crecimiento del ecosistema de emprendimiento del país, en comparación con los estándares de los ecosistemas más importantes del mundo. Una mejor política, hace más atractivo el emprendimiento como profesión, impactando positivamente la generación de StartUps con mejores talentos, que al mismo tiempo resultan ser más atractivos para la inversión local y extranjera.

La última reflexión gira en torno a la cultura de innovación. Una de las características principales del conjunto de StartUps exitosos provenientes de los distintos ecosistemas de emprendimiento, converge en la integración de un alto componente de innovación, mediado por tecnologías de información (Ismael et al., 2014), que han logrado disrupciones suficientes para desplazar las más importantes industrias tradicionales de sus posiciones de liderazgo. Como

ejemplos de este fenómeno, Herrmann et al. (2015) resalta los casos de Instragram, quien desplazo a Kodak de su liderazgo, Spotify quien desplazó a Tower Records, uno de los gigantes en la comercialización de música en el mundo, Airbnb y Uber para el caso de la industria hotelera y de transporte, entre otros. Para todos los ejemplos, estas organizaciones no habrían sido posibles, de no ser por las ideas innovadoras de sus creadores, las cuales resultan posibles gracias a la estructura educativa y social que prohija la creatividad en sus diferentes manifestaciones. Más allá de la normatividad, buena parte del trabajo a desarrollar en el ecosistema de emprendimiento del país se concentra entonces en la construcción de un entorno habilitante para la innovación, esto incluye, el desarrollo de los mejores talentos, un fortalecimiento en la formación en ingenierías del país, la transformación del emprendimiento como profesión, y la creación de estructuras que premien la innovación en diferentes ámbitos.

## **7.2. Maximización de innovaciones en el ecosistema de emprendimiento**

Además de la exploración a las innovaciones exaptativas, el diseño del modelo permite abordar otro mecanismo adicional orientado a la emergencia de innovaciones en este caso – adaptativas – , para utilizar la clasificación desarrollada por Mastrogiorgio & Gilsing (2016) y Andriani & Cattani (2016). Estas ocurren en el marco del proceso lineal de innovación, donde un emprendimiento desarrolla un producto novedoso a partir de un propósito y un mercado previamente identificados, y siguiendo la estructura de un plan efectivamente logran innovar.

### **7.2.1. Innovaciones adaptativas en el modelo**

Como se observa en la Tabla 6.6, los resultados del experimento 1 guardan una significativa similitud con los obtenidos en el experimento 3, lo cual da cuenta no solo de la relación sistemática entre la emergencia de innovaciones exaptativas e innovaciones adaptativas, sino también

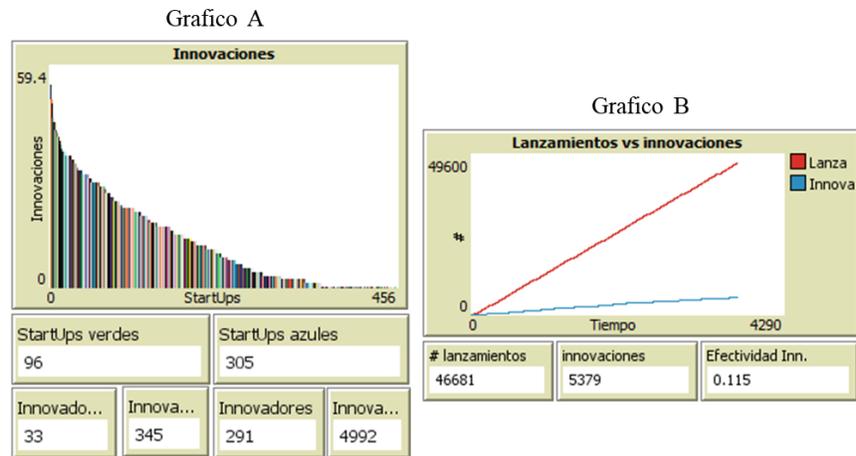
evidencia consistencia del modelo en términos de los fenómenos objeto de estudio. Como aspectos a resaltar, que además complementa las afirmaciones realizadas en la sección anterior, para este caso el mejor escenario para la emergencia de innovaciones propone una estructura de alta población, con un elevado número de centros de emprendimiento disponibles para el apoyo a los StartUps, sin embargo se presentan diferencias mayores en la cantidad de dinero disponible en el espacio de simulación, tanto en el capital propio con el que cuentan los emprendedores, como en el capital que proveen los centros de emprendimiento, pues para ambos casos la configuración llega a los máximos niveles posibles de la simulación. Esta configuración da cuenta de la importancia del dinero tanto en la sostenibilidad del ecosistema como en la emergencia de innovaciones en los StartUps, ambos aspectos serán tratados en detalle en una sección posterior.

Otro aspecto a resaltar, se enfoca en la configuración de los StartUps, la cual también es muy similar a la del experimento anterior, de hecho, en este experimento el nivel de afinidad entre emprendedores es 20 puntos mayor, lo que implica mayores niveles de exigencia en el proceso de asociación entre agentes de la simulación, además de corroborar la importancia en el desarrollo de políticas para el fortalecimiento y homologación de las competencias de los emprendedores desde fases tempranas como se discutió previamente. Respecto de la afinidad de mercado la configuración también es cercana a los resultados del experimento anterior, propiciando una proporción de conocimiento común de los emprendedores respecto de los mercados conocidos, pero en mayor cuantía el conjunto de mercados que cada uno conoce de manera individual. Por último, en relación con el número de emprendedores vinculados a un emprendimiento, para este experimento se reduce en uno, manteniendo una configuración óptima basada en un número mínimo de integrantes por emprendimiento. Esta estructura común para ambos experimentos da

cuenta de la necesidad por especialización de los miembros en cada emprendimiento, así, aun cuando es posible integrar más agentes a cada emprendimiento, la mejor combinación se da cuando hay al menos uno de los perfiles requeridos, con un nivel de conocimiento elevado sobre especialización.

### **7.2.2. Desempeño y patrones de comportamiento de las innovaciones en la simulación**

Continuando con el estudio del comportamiento en el modelo, se ejecutó nuevamente una simulación por 3650 días bajo las combinaciones paramétricas óptimas resultantes del experimento 2, en este caso, con el propósito de observar el comportamiento de la simulación de cara a la emergencia de innovaciones. Los primeros resultados (ver Figura 7.6) dan cuenta de la efectividad en la emergencia de innovaciones en la simulación y su comportamiento en el tiempo, la Figura 7.6 – Gráfico A – presenta un comparativo de la cantidad de innovaciones acumuladas por cada una de los StartUps disponibles, la configuración de los resultados evidencia una distribución de ley de potencia, donde un número reducido de StartUps cuenta con la mayor cantidad de innovaciones, mientras un extenso número de StartUps cuenta con pocas y en buena parte de los casos con ninguna. Este hallazgo, resulta significativo, al complementar la evidencia respecto de las consideraciones de Baum & McKelvey, (2006) asociadas a la medición de los fenómenos de la organización, donde el comportamiento de los extremos determina buena parte del comportamiento del fenómeno. Dada esta evidencia, el comportamiento de ley de potencia de las innovaciones en la simulación es un indicador de que este es un fenómeno complejo (Baum & McKelvey, 2006; McKelvey & Andriani, 2005).



**Figura 7.6 Desempeño de innovaciones en el modelo después de 3650 días**  
Fuente: Elaboración propia

Comprender la innovación como un fenómeno que se comporta a la manera de una ley de potencia supone caracterizarlo como un fenómeno por naturaleza - de extremos - (Baum & McKelvey, 2006). En esta vía, la evidencia obtenida en la simulación soporta la afirmación realizada en la sección 3.2 respecto de la incompletitud en los modelos de proceso innovador, específicamente por desconocer su naturaleza estructural como fenómeno extremo. Esta connotación explica al mismo tiempo, por qué a pesar de los esfuerzos, inversión de capital y recursos que la organización dispone para innovar, la emergencia de innovaciones resulta ser escasa. De la misma manera que con las innovaciones exaptativas, aun cuando el modelo cuenta con una configuración paramétrica optimizada, la tasa de efectividad en el logro de innovaciones en general es bastante baja, después de 46.681 intentos por innovar desarrollados por los StartUps a través del tiempo de simulación, solo 5379 (Figura 7.6 – Gráfico B –) fueron acertados, lo que significa que la efectividad de innovación en el sistema es del 11.5%. Varias simulaciones fueron ejecutadas a fin de verificar este patrón, los resultados evidenciaron una efectividad de entre el 10 y el 13%.

De cara al ecosistema de emprendimiento, su comportamiento resulta similar al de la simulación. En el informe GEM Colombia 2016 se indica que la innovación en las firmas nacientes y nuevas (TEA) no ha mejorado en los últimos años, de hecho, para este año el 12% de los empresarios afirmó que su producto y/o servicio era considerado como novedoso por la mayoría de sus consumidores, contrario al el 53% que indicó lo contrario (Buelvas et al., 2017, p. 9). Si bien la evidencia obtenida de la simulación resulta insuficiente para afirmar que el ecosistema de emprendimiento se encuentra cerca o en un punto óptimo, el total de informes relacionados con emprendimiento, innovación, y ecosistemas de emprendimiento sugieren entre sus conclusiones, la necesidad por un constante desarrollo de procesos, estructuras e instituciones que promuevan y garanticen en mayor volumen la creación de StartUps basados en innovación, esto basado en la tesis de Christensen, (1997) donde la inversión en innovación no puede garantizar el éxito, pero la desinversión en este aspecto si garantiza el fracaso.

Uno de los más completos análisis sobre el conjunto de retos específicos que debe superar el país a fin de mejorar sus indicadores de innovación y emprendimiento, es el informe de balance y recomendaciones de Fedesarrollo (Gómez & Mitchell, 2014) el cual propone 10 iniciativas para abordar los desafíos de la transición hacia una economía basada en la innovación y el emprendimiento (ver Tabla 7.2). El análisis de los 10 retos evidencia un problema sistémico que de no transformarse puede comprometer la estabilidad del ecosistema de emprendimiento en el mediano plazo, en principio, porque buena parte de los aspectos que sustentan el crecimiento del mismo se caracterizan en la tabla como retos a superar. Algunos de estos retos caracterizados en el informe, como la inversión de recursos en ciencia investigación e innovación, el compromiso del gobierno y la promoción de instituciones de apoyo, se articulan con las principales reflexiones

provistas en la sección anterior, lo que da cuenta no solo de su pertenencia, sino también de su relevancia en el mejoramiento del ecosistema de innovación. Así, el conjunto de recomendaciones de los distintos informes resultan positivas por cuanto el continuo estímulo de la innovación en los StartUps no puede garantizar el éxito de los mismos, pero si evitar el fracaso de una buena parte.

**Tabla 7.2**

*Desafíos para Colombia en ciencia, tecnología e Innovación*

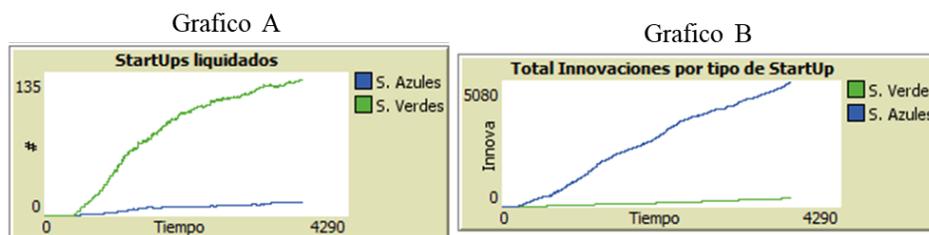
<b>Categoría</b>	<b>Retos</b>	
Entorno institucional	Más compromiso del gobierno y las autoridades locales con la CT&I	Reorientar los roles de las entidades públicas que hacen parte del Sistema de CT&
Financiación	Incrementar los recursos públicos, especialmente para financiar proyectos de innovación empresarial	Mejorar el proceso de asignación y distribución de recursos para CT&I del Sistema General de Regalías
Cultura de innovación	Convertir la empresa en el centro de la estrategia de CT&I	Promover el surgimiento de emprendimientos 'spin off' de universidades y centros de investigación
Ciencia y tecnología	Financiar, apoyar y conectar a grupos de investigadores	Promover centros de investigación sectoriales y transversales de talla mundial
Capital humano	Aumentar la participación de las ciencias básicas, diseño e ingenierías en la educación superior	Fomentar la incorporación de investigadores en firmas y técnicos y tecnólogos en pymes

*Fuente: Elaboración propia*

### **7.2.3. Centros de Emprendimiento e innovaciones**

Respecto de la simulación ejecutada, el comportamiento de los tipos de StartUps en relación con el proceso de generación de innovaciones, permite identificar los efectos de las instituciones de apoyo en el mejoramiento del desempeño de los StartUps. La Figura 7.7 presenta un comparativo de los dos tipos de StartUps disponibles en la simulación i) StartUps Azules, o emprendimientos que han pertenecido a un centro de emprendimiento, y ii) StartUps Verdes, o StartUps que nunca han pertenecido a un centro de emprendimiento. Las gráficas evidencian una

relación inversamente proporcional entre los tipos de emprendimiento para cada gráfico, donde se observa que los StartUps verdes cuentan con la menor cantidad innovaciones acumuladas, pero el mayor número de StartUps liquidados, por el contrario, los StartUps azules que han recibido diferentes tipos de apoyo a través de la simulación, presentan un comportamiento inverso. Si bien la vinculación a centros de emprendimiento no garantiza la sostenibilidad en el largo plazo de los emprendimientos, los resultados de la simulación (ver Figura 7.6 – Gráfico A–) evidencian que la cantidad de innovaciones en StartUps aceleradas es 8 veces mayor en comparación con aquellas que no han sido vinculados a este proceso.



**Figura 7.7 Comportamiento de StartUps innovando**  
Fuente: Elaboración propia

En la misma línea, las StartUps aceleradas fracasaron 10 veces menos en comparación con aquellas que no han sido vinculados a este proceso. A manera de síntesis el desarrollo de centros de emprendimiento que “mejoren la competitividad de las firmas: orientándolas hacia la innovación y la sostenibilidad, en el uso de los recursos existentes, conectándolas con redes empresariales y llevándolas a las etapas de desarrollo y crecimiento” (Buelvas et al., 2017, p.8) resulta uno de los aspectos vitales para la innovación y sostenibilidad de los StartUps en el largo plazo.

#### **7.2.4. Dinero e innovaciones**

Al contrastar los resultados comparados del experimento 2 y 4, se observa el mismo patrón de comportamiento de los experimentos 1 y 3 analizados en la sección anterior. Como lo evidencia la Tabla 6.2, de nuevo el dinero disponible en la simulación genera un impacto significativo en el total de innovaciones que los StartUps desarrollan. Dado que la proporción de innovaciones adaptativas resulta mayor que las innovaciones exaptativas, el efecto general de la restricción de dinero se ve más acentuado en el experimento sobre el total de innovaciones, de hecho, el impacto corresponde a un 52% de las innovaciones totales en comparación con los resultados del experimento 2. En términos prácticos, los resultados permiten inferir que una de cada dos innovaciones en un ecosistema de emprendimiento, está vinculada a la disponibilidad de recursos para inversión en este ecosistema, lo que complementa la evidencia expuesta en la sección anterior, respecto del papel que desempeña el dinero en la emergencia de innovaciones.

**Tabla 7.2**  
*Comparativo combinaciones paramétricas experimentos 2 y 4*

<b>search-number</b>	<b>Exp 2</b>	<b>Exp 4</b>
Evaluation	2100	2100
total_poblacion*	1000	900
max_dinero*	1900	900
centros_emprendimiento*	16	18
tamaño_max_ce*	12	11
%_afinidad_personas*	90	80
tamaño_max_emprendimiento*	3	2
mercados_mundo*	71	71
dinero_centros*	10	8
%_afinidad_mercados*	30	40
num-replicates	30	30
best-fitness-so-far	4223,7	2174,8
recheck-replications	4	4
best-fitness-rechecked	4370,8	2075,5

*Fuente: Elaboración propia*

Como aspecto a resaltar, que valida el impacto del dinero en los resultados, es que el conjunto de combinaciones paramétricas del experimento 4 resulta muy similar al del experimento 2, aun cuando ambos se desarrollaron en momentos del tiempo diferentes y por las características de los sistemas de búsqueda, a partir de configuraciones de solución diferentes. De hecho, al comparar las figuras 6.3 y 6.5, respecto del desempeño y evolución de las soluciones en cada uno de los experimentos, se observan diferencias en el avance de cada experimento a lo largo de las 2100 simulaciones ejecutadas. Estas similitudes permiten validar la efectividad en el proceso de optimización del experimento junto con soportar conclusiones expuestas en la sección anterior. Así, aun en condiciones de configuración óptima, la disponibilidad de capital de inversión en el ecosistema de emprendimiento representa un aspecto significativo para la sostenibilidad del mismo en el tiempo, posiblemente, resulte un aspecto más relevante, que el diseño de políticas, y el desarrollo de cultura para la innovación, ambos discutidos previamente.

Como síntesis, las anteriores reflexiones llevan a concluir que uno de los problemas centrales del emprendimiento en el país, es que esta actividad no es considerada ni social, ni cultural, ni estructuralmente como una profesión formal, el emprendimiento como proyecto de vida para el desarrollo de un individuo es aún visto como la consecuencia del desempleo impulsada por la necesidad, y no como una oportunidad de desarrollo profesional de largo plazo. En el ámbito cultural, solo un número reducido de personas apuesta por el desarrollo esta actividad, lo que supone una demanda en formación técnica menor que hace que las estructuras de formación sean también escasas. En el ámbito social y político, la dificultad para abordar el emprendimiento como una profesión, hace que los cuerpos colegiales generadores de política pública no vean en el

emprendimiento un camino para el desarrollo económico de país, y por ende las prioridades de legislación se enfoquen no en la apuesta por el crecimiento sino en la consolidación de los modelos tradicionales de negocio, esto también, porque de comportamiento de inversión de los colombianos se puede inferir una clara aversión a las inversiones de alto riesgo. Por último, en el plano estructural, la dificultad por abordar el emprendimiento como una profesión formal hace que pocas instituciones apuesten por el desarrollo de estructuras de apoyo y consolidación de emprendimientos y que por ende el flujo de inversión de capital de riesgo hacia este tipo de iniciativas se encuentre concentrado en unos casos, y limitado al no existir las garantías mínimas de soporte para fondos e inversionistas orientados a este fin.

## 8. Limitaciones del estudio y Futuras Investigaciones

Las principales limitaciones en el desarrollo de esta investigación convergen en dos aspectos. El primero se relaciona con la naturaleza misma del modelo, la revisión de la literatura asociada a modelos de proceso innovador, expuesta en la sección 2.3, da cuenta de la evolución histórica tanto del aparato teórico como metodológico asociado a este ámbito de estudio. Para todos los casos el desarrollo estructural de los modelos se enfoca en brindar explicaciones acerca del proceso de innovación al interior de las organizaciones, sin embargo, el modelo desarrollado en esta investigación se aleja de la noción interna de proceso, considerando el proceso innovador en el marco de un sistema de organizaciones, específicamente en el ecosistema de emprendimiento. Esta caracterización, supone limitaciones respecto de preguntas asociadas a la manera como los emprendimientos ejecutan internamente procesos y actividades para innovar y como estos fluyen al interior de la organización, los cuales, desde la ejecución del modelo no podrían ser abordadas con precisión.

El segundo aspecto converge en el alcance del marco teórico desarrollado en este texto alrededor del concepto de diversidad. Si bien, es abordado desde una perspectiva que resulta conveniente con la noción de innovación - transformación - evolución desarrollada en esta investigación, de seguro un abordaje más ampliado desde la riqueza científica de ciencias como la Biología y la Complejidad podría develar aproximaciones adicionales que enriquecerían el desarrollo de la investigación.

En relación con las investigaciones futuras, las alternativas resultan amplias por cuanto la estructura de parámetros del modelo permite explorar un amplio número posibilidades de

investigación, de hecho, las propiedades de replicación del código en la simulación basada en agentes (Squazzoni, 2012) hacen que su estructura pueda ser utilizada para resolver otros problemas, lo que en adición se constituye como una buena práctica para validar la robustez del código. Sin embargo, dos caminos sobresalen como alternativas de interés para futuros trabajos, dada su relevancia en el contexto de esta investigación y el ecosistema de emprendimiento.

El primer camino se orienta a profundizar en el estudio del rol y los efectos de la diversidad en la emergencia de innovaciones, esto, por cuanto en esta investigación la diversidad es abordada como un habilitador de proceso de innovación, y su desarrollo teórico se enfoca exclusivamente bajo la perspectiva de posibilidades y/o adyacentes posibles desarrollada por Kauffman (1996, 2003). Otras aproximaciones, por ejemplo, la asociada a la medición de diversidad desde la genética (Nei, 1973) podían generar resultados interesante sobre el comportamiento de las innovaciones tanto en las organizaciones como en los sistemas vivos. Como anticipo a esta investigación, utilizando el mismo modelo, se ejecutó un experimento donde se buscaba maximizar la diversidad en el conocimiento de mercados de los agentes, dado que la posibilidad de saltar hacia los adyacentes posibles en encuentra mediada por la cantidad de mercados que conoce los emprendimientos.

Los resultados preliminares evidenciaron que en condiciones óptimas, los emprendedores no conocen el total de mercados, sino alrededor del 52% lo que corresponde con las reflexiones de Kauffman (1996), al indicar respecto de los sistemas vivos, que el conjunto de potenciales reacciones moleculares que un sistema autocatalítico puede desarrollar, es sumamente diverso, pero también finito (Kauffman, 1996). Son precisamente las posibles reacciones las que dan un

límite a las alternativas, al excluir, muchas de las formas que integran la biosfera, de no ser así, los sistemas cruzarían la transición de fase dirigiéndose hacia la extinción. En otras palabras, a pesar de la inmensa posibilidad de cambios en la biosfera, solo ciertos cambios pueden suceder. Dados estos argumentos resulta probable que al desarrollar un nuevo experimento que considere introducir restricciones en la diversidad de los mercados, el efecto en la emergencia de innovaciones exaptativas y adaptativas, sea similar al evidenciado en la sección 7.1 y 7.2 respecto de la restricción del dinero en la simulación.

El segundo camino, converge en el estudio de la relación entre la emergencia de innovaciones y longevidad de los StartUps, aspecto que, como se caracterizó en la sección 2 resulta de interés mayor por cuanto menos de un 10% del total de firmas creadas en el país sobrevive por más un periodo superior a 5 años, cual es atribuible entre otras razones, al estatus de economía basada en eficiencia que aun ostenta el país (Buelvas et al., 2017). En un experimento preliminar realizado con el modelo, se estableció como función objetivo la maximización en la longevidad de los emprendimientos, obteniendo como resultado que la media de emprendimientos disponibles en la simulación sobreviviera por un máximo de 1.394 días, lo que indica que el estudio detallado de los resultados del experimento, junto con el análisis del comportamiento de la simulación, puede proveer evidencias interesantes respecto de la estructura optima de operación para prohijar la longevidad de los StartUps, y a partir de ellos aportar reflexiones respecto de diseño de políticas y estructuras para este fin.

Otras oportunidades de menor interés convergen en el desarrollo de un ejercicio de referenciación que permita identificar brechas competitivas y buenas prácticas para el ecosistema

de emprendimiento colombiano y por último profundizar en el estudio del comportamiento como ley de potencia de las innovaciones en el modelo en búsqueda de proveer evidencia que fundamente la caracterización de la innovación como un fenómeno complejo, y contribuya a complementar el aparato teórico que desarrolla esta aproximación.

## 9. Referencias

- Abernathy, W. J., & Clark, K. B. (1985). Innovation: Mapping the winds of creative destruction. *Research Policy*, 14(1), 3–22. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(85\)90021-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(85)90021-6)
- Adriani, P., & Cohen, J. (2009). Innovation in biology and technology: exaptation precedes adaptation. Gargnano.
- Afuah, A. (1999). *La Dinámica de la Innovación Organizacional: El Nuevo Concepto para Lograr Ventajas Competitivas y Rentabilidad*. San Rafael, México: Oxford University Press.
- Afuah, A. (2009). *Strategic Innovation: New Game Strategies for Competitive Advantage* (1st ed.). New York, USA: Routledge.
- Almirall, E., & Casadesus-Masanell, R. (2010). Open versus closed innovation: A model of discovery and divergence. *Academy of Management Review*, 35(1), 27–47. <https://doi.org/10.5465/AMR.2010.45577790>
- Amouroux, E., Gaudou, B., Desvaux, S., & Drogoul, A. (2010). O.D.D.: A promising but incomplete formalism for individual-based model specification. In *2010 IEEE-RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies: Research, Innovation and Vision for the Future, RIVF 2010*. <https://doi.org/10.1109/RIVF.2010.5633421>
- Anderson, P. (1972). More Is Different. *Science*, 177(4047), 393–396. <https://doi.org/10.1126/science.177.4047.393>
- Anderson, P. (1999). Complexity theory and organization science. *Organization Science*, 10(3), 216–232. <https://doi.org/10.2307/2640328>
- ANDI. (2017). *Colombia: Balance 2016 y Perspectivas 2017*. Bogotá. Retrieved from <http://www.andi.com.co/SitEco/Documents/ANDI-Balance 2016-Perspectivas 2017.pdf>
- Andriani, P., & Carignani, G. (2014). Modular exaptation: A missing link in the synthesis of artificial form. *Research Policy*, 43(9), 1608–1620. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2014.04.009>
- Andriani, P., & Cattani, G. (2016). Exaptation as source of creativity, innovation, and diversity: Introduction to the Special Section. *Industrial and Corporate Change*, 25(1), 115–131. <https://doi.org/10.1093/icc/dtv053>
- Andriani, P., & Cohen, J. (2005). *Innovation and Exaptation: making sense of serendipity in innovation and new product development*. Durham.
- Anzola, D. (2015). *The Philosophy of Computational Social Science*. Doctoral Thesis, Department of Sociology, University of Surrey. Retrieved from

- <http://epubs.surrey.ac.uk/id/eprint/808102>
- Arthur, B. (1989). Competing Technologies, Increasing Returns, and Lock-In by Historical Events. *The Economic Journal*, 99(394), 116. <https://doi.org/10.2307/2234208>
- Arthur, B. (2009). *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves*. New York: Simon and Schuster.
- Arthur, B., Durlauf, S., & Lane, D. (1997). Introduction. In B. Arthur, S. Durlauf, & D. Lane (Eds.), *The economy as an evolving complex system II* (pp. 1–14). Massachusetts: Addison-Wesley.
- Arthur, C. (2012, January 24). The history of smartphones: timeline. *The Guardian*. Retrieved from <https://www.theguardian.com/technology/2012/jan/24/smartphones-timeline>
- Asplund, M., & Sandin, R. (1999). The survival of new products. *Review of Industrial Organization*, 15(3), 219–237. <https://doi.org/10.1023/A:1007708612713>
- Axelrod, R. (1984). *The Complexity of Cooperation. Agent-based Models of Competition and Collaboration*. New Jersey, USA: Princeton University Press.
- Axelrod, R. (1997). Advancing the art of simulation in the social sciences. *Simulating Social Phenomena*, 12(3), 21–40. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0526\(199711/12\)3:2<16::AID-CPLX4>3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0526(199711/12)3:2<16::AID-CPLX4>3.0.CO;2-K)
- Axelrod, R., & Cohen, M. D. (2001). *Harnessing Complexity* (1st ed.). NEW YORK: Basic Books.
- Axelrod, R., & Hamilton, W. D. (1981). The Evolution of Cooperation. *Science*, 211(4489), 1390–1396. <https://doi.org/10.1086/383541>
- Ayala, F. (2011). La evolución y el origen del ser humano. España.
- Babbie, E. (2000). *Fundamentos de la investigación social*. México D.F., México: Thompson editores.
- Banks, J. (1998). Principles of simulation. In J. Banks (Ed.), *Handbook of Simulation (Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practices)* (p. 864). New York, USA: John Wiley & Sons.
- Banzhaf, W., Baumgaertner, B., Beslon, G., Doursat, R., Foster, J. A., McMullin, B., ... White, R. (2016). Defining and simulating open-ended novelty: requirements, guidelines, and challenges. *Theory in Biosciences*, 135(3), 131–161. <https://doi.org/10.1007/s12064-016-0229-7>
- Bar-Cohen, Y. (2005). *Biologically Inspired Technologies*. CRC press (Vol. 1). New York, USA.
- Baum, J., & McKelvey, B. (2006). Analysis of Extremes in Management Studies. In D. Ketchen & D. Bergh (Eds.), *Research Methodology in Strategy and Management* (3rd ed., Vol. 3, pp. 123–196). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1016/S1479-8387\(06\)03007-4](https://doi.org/10.1016/S1479-8387(06)03007-4)
- Bel-Enguix, G., & Jiménez-López, D. (2011). *Bio-Inspired Models for Natural and Formal Languages*. Newcastle, UK: Cambridge Scholar Publishing.
- Bhide, A. (2004). *La iniciativa emprendedora*. *Harvard Business Review*. Barcelona, España: Harvard Business Review Press.
- Bonfati, G., & Villani, M. (2013). Exaptation in innovation processes: theory and models. In A. Grandori (Ed.), *Handbook of Economic Organization: Integrating Economic and Organization Theory* (pp. 172–192). Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.
- Bonifati, G. (2010). “More is different”, exaptation and uncertainty: three foundational concepts for a complexity theory of innovation. *Economics of Innovation and New Technology*, 19(8), 743–760. <https://doi.org/10.1080/10438599.2010.511455>

- Bonifati, G. (2012). Exaptation and emerging degeneracy in innovation processes. *Economics of Innovation and New Technology*, 8599(September), 1–21. <https://doi.org/10.1080/10438599.2012.689674>
- Brown, R. (1828). A brief account of microscopical observations made in the months of June, July and August 1827, on the particles contained in the pollen of plants; and on the general existence of active molecules in organic and inorganic bodies. *Philosophical Magazine Series 2*, 4(21), 161–173. <https://doi.org/10.1080/14786442808674769>
- Buelvas, P., Franco, C., García, G., Gómez, L., López, S., Matiz, F., ... Varela, R. (2017). *Global Entrepreneurship Monitor: Actividad empresarial Colombiana 2016*. Cali. Retrieved from <http://gemcolombia.org/publications/gem-colombia-2016-reporte-nacional/>
- Bunge, M., & Pons, H. (1999). *Las ciencias sociales en discusión. Una perspectiva filosófica*. BUENOS AIRES: Sudamericana.
- Burger, E. (1963). *Introduction to the theory of games*. New Jersey, USA: Englewood Cliffs.
- Burns, T., & Stalker, G. M. (1961). *The management of innovation* (1st ed.). London, UK: Tavistock Publications.
- Caldart, A. A., & Ricart, J. E. (2006). *Corporate Strategy in Turbulent Environments: Key Roles of the Corporate Level*. Anselmo Rubiralta Center for Globalization and Strategy (Vol. 623). <https://doi.org/10.2139/ssrn.899267>
- Cambou, D., & Nash, B. (2002). Maravillas Modernas: Invenciones fallidas. Jupiter Entertainment. Retrieved from <http://www.history.com/shows/modern-marvels>
- Cantwell, J. (2006). *Innovation and Competitiveness*. (J. Fagerberg & D. Mowery, Eds.), *The Oxford handbook of innovation*. New York, USA: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199286805.003.0020>
- Carayannis, E. G., Samara, E. T., & Bakouros, Y. L. (2015). *Innovation and Entrepreneurship*. Cham: Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-11242-8>
- Carley, K. M. (1999). On generating hypotheses using computer simulations. *Systems Engineering*, 2(2), 69–77. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1520-6858\(1999\)2:2<69::AID-SYS3>3.0.CO;2-0](https://doi.org/10.1002/(SICI)1520-6858(1999)2:2<69::AID-SYS3>3.0.CO;2-0)
- Castellacci, F. (2008). Innovation and the competitiveness of industries: Comparing the mainstream and the evolutionary approaches. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(7), 984–1006. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2007.09.002>
- Castells, M. (1999). *La era de la información: economía, sociedad y cultura Volumen I: La sociedad red* (2nd ed.). Madrid, España: Blackwell Publishers Inc.
- Cattani, G. (2006). Technological pre-adaptation, speciation, and emergence of new technologies: How Corning invented and developed fiber optics. *Industrial and Corporate Change*, 15(2), 285–318. <https://doi.org/10.1093/icc/dtj016>
- Cattani, G. (2008). Reply to Dew's (2007) commentary: "Pre-adaptation, exaptation and technology speciation: A comment on Cattani (2006)." *Industrial and Corporate Change*. <https://doi.org/10.1093/icc/dtn011>
- Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation Keywords. In H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West (Eds.), *New Frontiers in Open Innovation* (pp. 1–37). Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof>
- Chesbrough, H., & Rosenbloom, R. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation: evidence from Xerox Corporation's technology spin-off companies. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 529–555. <https://doi.org/10.1093/icc/11.3.529>

- Chesbrough, H. W. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Harvard Business School Press (Vol. 2006). Boston, USA.  
<https://doi.org/10.1111/j.1467-8691.2008.00502.x>
- Chiesa, V., Coughlan, P., & Voss, C. (1998). Development of a technical innovation audit. *Journal of Product Innovation Management*, 26(2), 64–91. [https://doi.org/10.1016/0737-6782\(95\)00109-3](https://doi.org/10.1016/0737-6782(95)00109-3)
- Chomsky, N. (1965). *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, USA: MIT Press.
- Christensen, C. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston: Harvard Business School Press.
- Cioffi-Revilla, C. (2014). *Introduction to Computational Social Science*. Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5661-1>
- Confecamaras. (2014, October 20). Creación de empresas en Colombia aumentó 9,3% de enero a septiembre de 2014. *Onfecamaras.org.co*. Retrieved from  
<http://www.confecamaras.org.co/noticias/301-creacion-de-empresas-en-colombia-aumento-9-3-de-enero-a-septiembre-de-2014>
- Cozijnsen, A., Vrakking, W., & IJzerloo, M. (2000). Success and failure of 50 innovation projects in Dutch companies. *European Journal of Innovation Management*, 3(3), 150–159.  
<https://doi.org/10.1108/14601060010322301>
- Damanpour, F. (1987). The Adoption of Technological, Administrative, and Ancillary Innovations: Impact of Organizational Factors. *Journal of Management*, 13(4), 675–688.  
<https://doi.org/10.1177/014920638701300408>
- Darwin, C. (1872). *The Origin of Species*. USA: Forgotten Books. Retrieved from  
[https://forgottenbooks.com/es/readbook/TheOriginofSpecies\\_10005645#4](https://forgottenbooks.com/es/readbook/TheOriginofSpecies_10005645#4)
- Davis, J., Eisenhardt, K., & Bingham, C. (2007). Developing theory through simulation methods. *Academy of Management Review*, 32(2), 480–499.  
<https://doi.org/10.5465/AMR.2007.24351453>
- Dawid, H. (2006). Agent-based models of innovation and technological change. *Handbook of Computational Economics*, 2(88), 1235–1272. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02025-3](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02025-3)
- Dawkins, R. (2004). *El gen egoísta: Las bases biológicas de nuestra conducta*. Barcelona, España: científica Salvat.
- De Bono, E. (1991). *El pensamiento Lateral: Manual de Creatividad*. Barcelona, España: PAIDOS IBERICA.
- Denning, P. J. (2010). The great principles of computing. *American Scientist*, 98(5), 369–372.
- Denning, P. J., & Dew, N. (2015). Why our theories of innovation fail us. *Communications of the ACM*, 58(12), 24–26. <https://doi.org/10.1145/2835854>
- Dew, N. (2007). Pre-adaptation, exaptation and technology speciation: A comment on Cattani (2006). *Industrial and Corporate Change*. <https://doi.org/10.1093/icc/dtl036>
- Dew, N., Sarasvathy, S., & Venkataraman, S. (2004). The economic implications of exaptation. *Journal of Evolutionary Economics*, 14(1), 69–84. <https://doi.org/10.1007/s00191-003-0180-x>
- Dinero. (2015, August). Wayra, la academia que prevé convertir a Bogotá en un gran centro del emprendimiento joven. *Publicaciones Semana S.A.* Retrieved from  
<http://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/wayra-la-aceleradora-de-empresas-jovenes-o-startup-del-grupo-telefonica/210823>
- Dinero. (2017, June). Mercadoni logra una inversión histórica para el emprendimiento

- colombiano. *Revista Dinero - Emprendimiento*. Retrieved from <http://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/mercadoni-logra-inversion-millonaria-de-grupo-pegasus-y-axon/246229>
- Dosi, G., Levinthal, D., & Marengo, L. (2003). Bridging contested terrain: linking incentive-based and learning perspectives on organizational evolution. *Industrial and Corporate Change*, 12(2), 413–436. <https://doi.org/10.1093/icc/12.2.413>
- Dosi, G., & Nelson, R. R. (1994). An introduction to evolutionary theories in economics. *Journal of Evolutionary Economics*, 4(3), 153–172. <https://doi.org/10.1007/BF01236366>
- Drexler, M., Eltobgy, M., & Gratzke, P. (2014). The Bold Ones: HighImpact Entrepreneurs Who Transform Industries. *World Economic Forum*, (el impacto economico d algunas empresas como facebook), 52. Retrieved from [http://www3.weforum.org/docs/AMNC14/WEF\\_AMNC14\\_Report\\_TheBoldOnes.pdf](http://www3.weforum.org/docs/AMNC14/WEF_AMNC14_Report_TheBoldOnes.pdf)
- Drucker, P. (1985). Innovation and entrepreneurship: Practices and principles. *Personnel Strategies and Productivity*, 10(1), 105–109. <https://doi.org/10.1080/07377366.1986.10401060>
- Drucker, P. (2004). *La disciplina de la innovación*. *harvard business review*. Retrieved from [file:///C:/Users/Asus/Downloads/La disciplina de la innovacion.pdf](file:///C:/Users/Asus/Downloads/La%20disciplina%20de%20la%20innovacion.pdf)
- Eisenhardt, K. M. (1989). Agency Theory: An Assessment and Review. *Academy of Management Review*, 14(1), 57–74. <https://doi.org/10.5465/AMR.1989.4279003>
- Eldredge, N., & Gould, S. (1972). Punctuated equilibria: an alternative to phyletic gradualism. In T. Schopf (Ed.), *Models in Paleobiology* (pp. 82–115). San Francisco, USA: Freeman, Cooper and Company.
- Elster, J. (1992). *El cambio tecnologico: investigaciones sobre la racionalidad y la transformacion social*. Barcelona, España: GEDISA.
- Epstein, J. (1999). Agent-based computational models and generative social science. *Complexity*, 4(5), 41–60. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0526\(199905/06\)4:5<41::AID-CPLX9>3.3.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0526(199905/06)4:5<41::AID-CPLX9>3.3.CO;2-6)
- Epstein, J. (2006). Remarks on the Foundations of Agent-Based Generative Social Science. In L. Tesfatsion & K. Judd (Eds.), *Handbook Of Computational Economics* (pp. 1585–1604). Cambridge, USA: Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0021\(05\)02034-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0021(05)02034-4)
- Epstein, J., & Axtell, R. (1996). *Growing artificial societies: social science from the bottom up*. Cambridge, USA: The MIT Press.
- Escorsa, P., & Valls, J. (2003). *Tecnología e innovación en la empresa* (1st ed.). Barcelona, España: Univ. Politèc. de Catalunya.
- Escuela de Administración. (2015). Documento maestro: Línea de emprendimiento e innovación. Bogotá: Escuela de Administración.
- Facultad de Administración. (2009). Doctorado en ciencias de la dirección. Bogota: Escuela de Administración.
- Facultad de Administración. (2012). Documento descriptivo de las líneas de investigación. Bogotá: Facultad de Administración.
- Feltrinelli, P., & Garda, G. (2009). Exaptation as a source of innovation, creativity and diversity in evolutionary sciences.
- Fioretti, G. (2013). Agent-Based Simulation Models in Organization Science. *Organizational Research Methods*, 16(2), 227–242. <https://doi.org/10.1177/1094428112470006>
- Fitjar, R. D., & Rodríguez-Pose, A. (2013). Firm collaboration and modes of innovation in Norway. *Research Policy*, 42(1), 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.05.009>

- Fleming, L., Rumelt, R., Schendel, D., & Teece, D. (1996). Fundamental Issues in Strategy: A Research Agenda. *Administrative Science Quarterly*, 41(1), 196. <https://doi.org/10.2307/2393999>
- Floreano, D., & Mattiussi, C. (2008). *Bio-Inspired Artificial Intelligence*. Boston, USA: MIT Press. <https://doi.org/10.1007/s10710-010-9104-3>
- Fondo Emprender. (2013). Fondo Emprender.
- Fonseca, J. (2002). *Complexity and Innovation in Organizations (Complexity and Emergence in Organizations)*. Nueva York, USA: Routledge.
- Forrest, J. (1991). Models of the process of Technological Innovation. *Technology Analysis & Strategy Management*, 3(4), 439–453.
- Foster, R. (1986). *Innovation: The Attacker's Advantage* (1st ed.). New York, USA: Summit Books.
- Freeman, C. (1982). *The Economics of Industrial Innovation*. Massachusetts: MIT Press.
- Freeman, C. (1995). The “National System of Innovation” in historical perspective. *Cambridge Journal of Economic*, 19(1), 5–24. Retrieved from <http://cje.oxfordjournals.org/content/19/1/5.full.pdf+html>
- Frenken, K. (2006). *Innovation, Evolution and Complexity Theory*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing.
- Ganzaroli, A. (2011). *Exaptation as source of creativity and innovation. Departmental Working Papers*. Milano.
- García-Valdecasas, J. I. (2011a). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 136, 91–109. <https://doi.org/10.5477/cis/reis.136.91>
- García-Valdecasas, J. I. (2011b). La simulación basada en agentes: una nueva forma de explorar los fenómenos sociales. *Revista Española de Investigaciones Sociológicas*, 136, 91–109. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99722480004>
- García-Valdecasas, J. I. (2014). Explicación mecanismo y simulación : otra manera de hacer sociología. *EMPIRIA. Revista de Metodología de Las Ciencias Sociales*, 28(Mayo-Agosto), 35–57.
- García-Valdecasas, J. I. (2016). *Cuadernos Metodológicos: Simulación basada en agentes. Introducción a NetLogo*. Madrid, España: Centro de Investigaciones Sociológicas.
- García, R. (2005). Uses of Agent-Based Modeling in Innovation/New Product Development Research\*. *Journal of Product Innovation Management*, 22(5), 380–398. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2005.00136.x>
- García, R., & Jager, W. (2011). From the Special Issue Editors: Agent-Based Modeling of Innovation Diffusion. *Journal of Product Innovation Management*, 28(2), 148–151. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5885.2011.00788.x>
- Garza, A. A., Castillo, O., & Valdez, J. M. G. (2010). Multi-agent system with personality profiles and preferences and learning for autonomous mobile robot with fuzzy logic support. *Studies in Computational Intelligence*, 318, 233–250. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15534-5\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15534-5_15)
- Gay, B., & Dousset, B. (2005). Innovation and network structural dynamics: Study of the alliance network of a major sector of the biotechnology industry. *Research Policy*, 34(10), 1457–1475. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2005.07.001>
- Gee, S. (1982). Technology transfer, innovation, and international competitiveness. *Design Studies*, 3(2), 112. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0142-694X\(82\)90068-0](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0142-694X(82)90068-0)

- Gell-Mann, M. (1995). *The Quark and the Jaguar: Adventures in the Simple and the Complex*. New York, USA: Henry Holt and Company.
- Gera, S. (1998). The knowledge-based economy: Shifts in industrial output. *Canadian Public Policy*, 24(2), 179–181. <https://doi.org/10.2307/3551772>
- Gilbert, N. (2007). *Agent-Based Models: Quantitative Applications in the Social Sciences* (1st ed.). London, UK: SAGE Publications, Inc.
- Gilbert, N., & Abbott, A. (2005). Introduction. *American Journal Of Sociology*, 110(4), 859–863.
- Gilbert, N., Ahrweiler, P., & Pyka, A. (2007). Learning in innovation networks: Some simulation experiments. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 378(1), 100–109. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2006.11.050>
- Gilbert, N., & Troitzsch, K. G. (2005). *Simulation for the Social Scientist. Simulation for the Social Scientist* (2nd ed.). Maidenhead: Open University Press.
- Godin, B. (2008). Innovation: The History of a Category. (385 rue Sherbrooke Est, Ed.). Montréal: Paper presented at: 1) Polish Academy of Sciences, Committee for the Science, Warsaw, Poland, 2 December 2008; 2) Charles University, Department of Comparative History, Czechoslovakia, Prague, 26 November 2008; 3) « Governance of and Through Science : Not. Retrieved from <http://www.csiic.ca/PDF/IntellectualNo1.pdf>
- Godin, B. (2015). Innovation: A Conceptual History of an Anonymous Concept, Project on the Intellectual History of Innovation. Montreal: 385 rue Sherbrooke Est. Retrieved from <http://www.csiic.ca/PDF/WorkingPaper21.pdf>
- Gómez, H. J., & Mitchell, D. (2014). *Innovación y emprendimiento en Colombia: balance, perspectivas y recomendaciones de política, 2014-2018*. BOGOTA D.C.
- Gómez, L., Hernández, T., Gómez, E., López, S., Sánchez, L., Vega, J., ... Osorio, F. (2016). *Global Entrepreneurship Monitor Colombia 2014*. Bogota. Retrieved from <http://gemcolombia.org/publications/gem-colombia-2014-reporte-nacional/>
- González, J., Cosenza, M., Klemm, K., Eguíluz, V., & Miguel, M. S. (2007). Information Feedback and Mass Media Effects in Cultural Dynamics. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 10(3), 9–23.
- González, S. (2004). ¿Sociedades artificiales? Una introducción a la simulación social. *Revista Internacional de Sociología*, (39), 199–222. <https://doi.org/10.3989/ris.2004.i39.268>
- Goodwin, M., Linares, S., & McGowan, M. (2014). *Construyendo el Ecosistema de Emprendimiento en el Sector Tech de Bogotá: 200 Compañías de Tecnología en 20 Años*. Bogotá. Retrieved from [https://issuu.com/endeavorglobal1/docs/colombia\\_multiplier\\_effect\\_report\\_e](https://issuu.com/endeavorglobal1/docs/colombia_multiplier_effect_report_e)
- Goodwin, R. (1991). Schumpeter, Keynes and the theory of economic evolution. *Journal of Evolutionary Economics*, 1(1), 29–47. <https://doi.org/10.1007/BF01202337>
- Gottfredson, M., & Aspinall, K. (2005, November). Innovation Versus Complexity: What Is Too Much of a Good Thing? *Harvard Business Review*, 83, 62–71. Retrieved from <https://hbr.org/2005/11/innovation-versus-complexity-what-is-too-much-of-a-good-thing>
- Gould, S., & Lewontin, R. C. (1979). The Spandrels of San Marco and the Panglossian Paradigm: A Critique of the Adaptationist Programme. In *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* (Vol. 205, pp. 581–598). London. <https://doi.org/10.1098/rspb.1979.0086>
- Gould, S., & Vrba, E. (1982). Exaptation—a Missing Term in the Science of Form. *Paleobiology*, 8(1), 4–15. <https://doi.org/10.1017/S0094837300004310>

- GreenNature.ca. (2008). Tree of Life (biological classification ranks). Retrieved July 18, 2015, from [http://www.greennature.ca/?q=tree of life](http://www.greennature.ca/?q=tree%20of%20life)
- Grimm, V., Berger, U., Bastiansen, F., Eliassen, S., Ginot, V., Giske, J., ... DeAngelis, D. (2006). appendix\_A standard protocol for describing individuals-based and agent-based models. *Ecological Modelling*, 198, 115–126. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.04.023>
- Grimm, V., Berger, U., DeAngelis, D. L., Polhill, J. G., Giske, J., & Railsback, S. F. (2010). The ODD protocol: A review and first update. *Ecological Modelling*, 221(23), 2760–2768.
- Groeneveld, J., Müller, B., Angermüller, F., Drees, R., Dreßler, G., Klassert, C., ... Schwarz, N. (2012). Good modelling practice: expanding the ODD model description protocol for socio-environmental agent based models. *International Environmental Modelling and Software Society (iEMSS) 2012 International Congress on Environmental Modelling and Software: Managing Resources of a Limited Planet: Pathways and Visions Under Uncertainty, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, German*, (1). Retrieved from <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>
- Guerrero, A., & García, O. (2013). *Retos en la transformación del ecosistema de emprendimiento de bogotá 2010 - 2012*. BOGOTA D.C. Retrieved from <http://observatorio.desarrolloeconomico.gov.co/base/lectorpublic.php?id=765#sthash.rlt7cm8e.dpbs>
- Hall, B., & Rosenberg, N. (2010). Introduction to the Handbook. In B. Hall & N. Rosenberg (Eds.), *Handbook of the Economics of Innovation* (1st ed.). amsterdam: Elsevier Inc.
- Hamel, G. (2001). Leading the revolution: *Strategy & Leadership*, 29(1), 4–10. <https://doi.org/10.1108/10878570110367141>
- Harrison, R., Lin, Z., Carroll, G., & Carley, K. (2007). Simulation modeling in organizational and management research. *Academy of Management Review*, 32(4), 1229–1245. <https://doi.org/10.5465/AMR.2007.26586485>
- Henderson, R. M., & Clark, K. B. (1990). Architectural innovation: The reconfiguration of existing product technologies and the failure of established firms. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 9–30.
- Henríquez, B., Montenegro, A., C. Gutiérrez, M., Guerrero, A., Hernández, J., Vesga, R., ... González, S. (2010). Hacia un Ecosistema de Emprendimiento en Bogotá. In *Seminario Taller: Convenio Secretaría Distrital de Desarrollo Económico- Facultad de Administración Universidad de los Andes*. Bogotá.
- Herrmann, B., Gauthier, J., Holtschke, D., Berman, R., & Marmer, M. (2015). *The Global Startup Ecosystem Ranking*. San Francisco.
- Hidalgo, A., Leon, G., & Pavon, J. (2008). *La gestión de la innovación y la tecnología en las organizaciones* (1st ed.). Madrid, España: Piramide.
- Hinkelmann, F., & Murrugarra, D. (2011). A mathematical framework for agent based models of complex biological networks. *Bulletin of Mathematical ...*, (December 2009), 1–19. Retrieved from <http://www.springerlink.com/index/7155270X6J61232W.pdf>
- Hinkelmann, F., Murrugarra, D., Jarrah, A. S., & Laubenbacher, R. (2011). A Mathematical Framework for Agent Based Models of Complex Biological Networks. *Bulletin of Mathematical Biology*, 73(7), 1583–1602. <https://doi.org/10.1007/s11538-010-9582-8>
- Hinkelmann, K., & Kempthorne, O. (2008). *Design and Analysis of Experiments, Volume 1, Introduction to Experimental Design*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
- Hobday, M. (2005). Firm-level Innovation Models: Perspectives on Research in Developed and

- Developing Countries. *Technology Analysis & Strategic Management*, 17(2), 121–146.  
<https://doi.org/10.1080/09537320500088666>
- Innpulsa. (2017a). *Ecosistemas regionales de emprendimiento en Colombia*. Bogotá. Retrieved from <https://www.innpulsacolombia.com/es/mapeo-ecosistema-startup>
- Innpulsa. (2017b). *Mapeo y caracterización del ecosistema de emprendimiento en Colombia, con énfasis en la localización de las Startups*. Bogota. Retrieved from <https://www.innpulsacolombia.com/es/mapeo-ecosistema-startup>
- Ismal, S., Malone, M., & Geest, Y. (2014). *Exponential Organizations Why new organizations are ten times better, faster, and cheaper than yours (and what to do about it)*. New York, USA: Diversion Books.
- Jaffe, A., Newell, R., & Stavins, R. (2003). Technological Change and the Environment. In K. Mäler & J. Vincent (Eds.), *Handbook of Environmental Economics* (pp. 461–516). New York, USA: Elsevier.
- Jensen, M. B., Johnson, B., Lorenz, E., & Lundvall, B. Å. (2007). Forms of knowledge and modes of innovation. *Research Policy*, 36(5), 680–693.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2007.01.006>
- Jiang, Z., & Hao, Y. (2013). Game analysis of technology innovation alliance stability based on knowledge transfer. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 19(4), 403–421. <https://doi.org/10.1007/s10588-011-9096-4>
- Johnson, S. (2011). *Where Good Ideas Come From: The Natural History of Innovation* (Unabridged). New York: Riverhead Books.
- Kantis, H., Angelelli, P., & Moori, V. (2005). *Desarrollo Emprendedor. América Latina y la experiencia internacional*. Washington, DC. Retrieved from <http://www.prodem.ungs.edu.ar/publicaciones/ver/5>
- Kauffman, S. (1996). *At Home in the Universe: The Search for the Laws of Self-Organization and Complexity*. New York, USA: Oxford University Press.
- Kauffman, S. (2003). *Investigaciones* (1st ed.). Barcelona, España: Tusquets Editores.
- Kauffman, S., Logan, R., Este, R., Goebel, R., Hobill, D., & Shmulevich, I. (2007). Propagating organization: an enquiry. *Biology & Philosophy*, 23(1), 27–45.  
<https://doi.org/10.1007/s10539-007-9066-x>
- Kauffman, S., & Weinberger, E. (1989). The NK model of rugged fitness landscapes and its application to maturation of the immune response. *Journal of Theoretical Biology*, 141(2), 211–245. [https://doi.org/10.1016/S0022-5193\(89\)80019-0](https://doi.org/10.1016/S0022-5193(89)80019-0)
- Keeley, L., Walters, H., Pikkil, R., & Quinn, B. (2013). *Ten Types of Innovation: The Discipline of Building Breakthroughs*. New Jersey, USA: Wiley John + Sons.
- Kell, D. B., & Lurie-Luke, E. (2014). The virtue of innovation: innovation through the lenses of biological evolution. *Journal of The Royal Society Interface*, 12(103), 20141183–20141183.  
<https://doi.org/10.1098/rsif.2014.1183>
- Kelley, D., Bosma, N., & Amorós, J. (2011). *Global Entrepreneurship Monitor - Global Report*. Santiago de Chile. Retrieved from <http://www.gemconsortium.org/docs/266/gem-2010-global-report>
- Kirzner, I. (1973). *Competition and Entrepreneurship*. Chicago, USA: The university of Chicago Press.
- Kleiber, M. (1932). Body size and metabolism. *Hilgardia: A Journal of Agricultural Science*, 6(11), 315–353. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Kline, S. (1985). Innovation is not a linear process. *Research Management*, 28(2), 36–45.

- Kline, S., & Rosenberg, N. (1986). An overview of innovation. In R. Landau & N. Rosenberg (Eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth* (pp. 275–305). Washington, D.C, USA.
- Knudsen, T., & Levinthal, D. (2007). Two Faces of Search: Alternative Generation and Alternative Evaluation. *Organization Science*, 18(1), 39–54.  
<https://doi.org/10.1287/orsc.1060.0216>
- Lahovnik, M., & Breznik, L. (2013). Innovation management and technological capabilities as a source of competitive advantage. In *Proceedings of the Management, Knowledge And Learning International Conference* (p. 9). Zadar. Retrieved from  
<http://www.toknowpress.net/ISBN/978-961-6914-02-4/papers/ML13-319.pdf>
- Lane, D., & Maxfield, R. (1997). Foresight, complexity and strategy. In B. Arthur, S. Durlauf, & D. Lane (Eds.), *The economy as a complex, evolving system II* (pp. 169–198). Massachusetts: Addison-Wesley.
- Lane, D., & Maxfield, R. (2005). Ontological uncertainty and innovation. *Journal of Evolutionary Economics*, 15(1), 3–50. <https://doi.org/10.1007/s00191-004-0227-7>
- Lane, D., Maxfield, R., Read, D., & Van der Leeuw, S. (2009). From population to organization thinking. In D. Lane, D. Pumain, S. E. van der Leeuw, & G. West (Eds.), *Complexity Perspectives in Innovation and Social Change (Methodos Series 7)* (pp. 11–41). Dordrecht, Netherlands: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9663-1>
- Lane, D., Serra, R., Villani, M., & Ansaloni, L. (2006). A Theory-Based Dynamical Model of Innovation Processes. *Complexus*, 2(3–4), 177–194. <https://doi.org/10.1159/000093689>
- Lawrence, P., & Lorsch, J. (1967). Differentiation and Integration in Complex Organizations. *Administrative Science Quarterly*, 12(1), 1–47. <https://doi.org/10.2307/2391211>
- Lenarduzzi, V., & Taibi, D. (2016). MVP Explained: A Systematic Mapping Study on the Definitions of Minimal Viable Product. In *2016 42th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)* (pp. 112–119). IEEE.  
<https://doi.org/10.1109/SEAA.2016.56>
- Levin, S. a. (2005). Self-organization and the Emergence of Complexity in Ecological Systems. *BioScience*, 55(12), 1075. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[1075:SATEOC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[1075:SATEOC]2.0.CO;2)
- Levinthal, D. (1997). Adaptation on rugged landscapes. *Management Science*, 43(7), 934–950.  
<https://doi.org/10.1287/mnsc.43.7.934>
- Li, J., & Wilensky, U. (2009). NetLogo Sugarscape 3 Wealth Distribution model. Evanston: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University.
- Liao, J., Welsch, H., & Moutray, C. (2008). Start-Up Resources and Entrepreneurial Discontinuance: The Case of Nascent Entrepreneurs. *Journal of Small Business Strategy*, 19(2), 1–15.
- LSDS. (2011). Protocolo-ODD. Retrieved January 17, 2017, from  
<http://sct.uab.cat/llds/es/content/protocolo-odd>
- Lundvall, B.-A. (1992). *National Systems of Innovation: Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning* (1st ed.). New York: Pinter Pub Ltd.
- Ma, T., & Nakamori, Y. (2009). Modeling technological change in energy systems – From optimization to agent-based modeling. *Energy*, 34(7), 873–879.  
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.03.005>
- Macy, M., & Flache, A. (2009). Social Dynamics from the Bottom Up: Agent-Based Model of Social Interaction. In P. Bearman & P. Hedström (Eds.), *The Oxford Handbook of*

- Analytical Sociology*. Oxford, UK.
- Macy, M. W., & Willer, R. (2002). From factors to actors : Computational Sociology and Agent-Based Modeling. *Annual Review of Sociology*, 28(1), 143–166. <https://doi.org/10.1146/annurev.soc.28.110601.141117>
- Maddison, A. (1991). *Dynamic Forces in Capitalist Development: A Long-Run Comparative View*. New York, USA: Oxford University Press.
- Maillard, P. (2014). *Competitive Quality and Innovation*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/9781119137573>
- Malaver, C. (2016, July 28). De cada 100 graduados, solo 48 ingresaron a la educación superior. *Diario El Tiempo*. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16656094>
- Maldonado, C. (2003). El problema de la filosofía del conocimiento y el estudio de los sistemas complejos. *Praxis Filosófica*, 17, 103–120. <https://doi.org/10120-4688>
- Maldonado, C. (2005). Ciencias de la complejidad: Ciencias de los cambios súbitos. *Odeon - Observatorio de Economía Y Operaciones Numéricas*, 2, 85–217.
- Maldonado, C. (2008). Manuscrito “Pensar en sistemas Vivos.” Bogotá.
- March, J. (1991). Exploration and Exploitation in Organizational Learning. *Organic Science*, 2(1), 71–87. <https://doi.org/10.1287/orsc.2.1.71>
- Mastrogiorgio, M., & Gilsing, V. (2016). Innovation through exaptation and its determinants: The role of technological complexity, analogy making & patent scope. *Research Policy*, 45(7), 1419–1435. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.04.003>
- McClelland, D. (1987). Characteristics of Successful Entrepreneurs. *The Journal of Creative Behavior*, 21(3), 219–233. <https://doi.org/10.1002/j.2162-6057.1987.tb00479.x>
- McGuigan, M., & Henderson, J. (2005). Organizational Strategic Innovation - How Is Government Policy Helping. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 2(2), 197–215. <https://doi.org/10.1142/S0219877005000460>
- McKelvey, B., & Andriani, P. (2005). Why Gaussian statistics are mostly wrong for strategic organization. *Strategic Organization*, 3(2), 219–228. <https://doi.org/10.1177/1476127005052700>
- Medina, É. (2016, July 6). Los errores que llevaron al ocaso de BlackBerry (Parte II). *El Tiempo*. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-16638354>
- Meinel, C., & Leifer, L. (2011). Design Thinking Research. In H. Plattner, C. Meinel, & L. Leifer (Eds.), *Design Thinking: Understand – Improve – Apply* (p. 259). London, UK.
- Meingan, D., & Kikuno, T. (1995). Innovar es combinar Estrategia y puesta en práctica. *Harvard-Deusto Business Review*, (69), 24–33.
- Miller, K. D. (2015). Agent-Based Modeling and Organization Studies: A critical realist perspective. *Organization Studies*, 36(2), 175–196.
- Millington, J., & Wainwright, J. (2016). Comparative Approaches for Innovation in Agent-Based Modelling of Landscape Change. *Land*, 5(2), 13. <https://doi.org/10.3390/land5020013>
- Mokyr, J. (2000). Evolutionary phenomena in technological change. In J. Ziman (Ed.), *Technological innovation as an evolutionary process* (pp. 52–65). New York, USA: Cambridge University Press.
- Moldaschl, M. (2010). Why Innovation Theories Make no Sense. *Resource Management (BWL IX)*, 9, 19. Retrieved from [http://www.csiic.ca/PDF/WP\\_2010\\_09InnoST\\_eng.pdf](http://www.csiic.ca/PDF/WP_2010_09InnoST_eng.pdf)
- Morgan, G. (1991). *Imágenes de la Organización*. Bogota, Colombia: Alfaomega.
- Müller, B., Bohn, F., Dreßler, G., Groeneveld, J., Klassert, C., Martin, R., ... Schwarz, N.

- (2013). Describing human decisions in agent based models - ODD + D, an extension of the ODD protocol. *Environmental Modelling & Software*, 48(0), 37–48. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.003>
- Myers, S., & Marquis, D. . (1969). Successful industrial innovation: a study of factors underlying innovation in selected firms. *National Science Foundation*, 69–17.
- Nan, N., Zmud, R., & Yetgin, E. (2014). A complex adaptive systems perspective of innovation diffusion: an integrated theory and validated virtual laboratory. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 20(1), 52–88. <https://doi.org/10.1007/s10588-013-9159-9>
- Nei, M. (1973). Analysis of Gene Diversity in Subdivided Populations. *The National Academy of Sciences*, 70, 3321–3323.
- Nelson, R. R., & Winter, S. G. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), 36–76. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(77\)90029-4](https://doi.org/10.1016/0048-7333(77)90029-4)
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, UK: Library of Congress.
- Newstrom, J. (2007). *Dirección: gestión para lograr resultados* (Novena Edi). Mexico D.F., Mexico: McGraw Hill.
- O’Sullivan, D., & Dooley, L. (2009). *Applying Innovation*. United Kingdom: SAGE Publications, Inc.
- Oakey, R., Rothwell, R., & Cooper, S. (1988). *The Management of Innovation in High Technology Small Firms: Innovation and Regional Development in Britain and the United States*. (R. Oakey, R. Rothwell, & S. Cooper, Eds.) (1st ed.). LONDON.
- OCD.Stat. (2017). Regional Economy. Retrieved February 22, 2017, from <https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=CITIES>
- OCDE. (1963). *Manual de Frascati* (1st ed.). Paris, Francia: Edición Comisión Europea.
- OCDE. (1993). *Medición de las Actividades Científicas y Tecnológicas. Directrices propuestas para recabar e interpretar datos de la innovación tecnológica: Manual Oslo* (1st ed.). Paris, Francia: Edición Comisión Europea.
- OCDE. (2002). *Manual de Frascati*. (FECTYT, Ed.) (1st ed.). Paris, France: Fundación Española de Ciencia Y Tecnología. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/9789264239012-en>
- OCyT. (2015). *Indicadores de Ciencia y Tecnología Colombia 2015*. BOGOTA D.C. Retrieved from [http://ocyt.org.co/Portals/0/LibrosPDF/indicadores\\_2015\\_web.pdf](http://ocyt.org.co/Portals/0/LibrosPDF/indicadores_2015_web.pdf)
- OECD, & EUROSTAT. (2005). *Oslo Manual: Proposed Guidelines for Collecting and Interpreting Technological Innovation Data. European Communities* (3rd ed.). Madrid, España: Grupo Tragsa.
- Olaison, L., & Sørensen, B. (2014). The abject of entrepreneurship: failure, fiasco, fraud. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 20(2), 193–211. <https://doi.org/10.1108/IJEBr-09-2013-0143>
- Ostrom, T. M. (1988). Computer simulation: The third symbol system. *Journal of Experimental Social Psychology*, 24(5), 381–392. [https://doi.org/10.1016/0022-1031\(88\)90027-3](https://doi.org/10.1016/0022-1031(88)90027-3)
- Padgett, J., & Powell, W. (2008). *The Emergence of Organizations and Markets*. Boston: Princeton University Press.
- Padgett, J., & Powell, W. (2012). *The nature and importance of innovation*. Princeton: Princeton University Press.
- Padmore, T., Schuetze, H., & Gibson, H. (1998). Modeling systems of innovation: An enterprise-centered view. *Research Policy*, 26(6), 605–624. <https://doi.org/10.1016/S0048->

7333(97)00039-5

- Pardo, C., & Alfonso, W. (2015). *Análisis de los principales factores del fracaso de los emprendimientos en Colombia*. Bogotá.
- Parker, R. (1982). *The management of innovation*. Chichester, UK: Wiley.
- Parlamento Europeo. (1995). Green Paper on Innovation. *Green Papers*, 136.  
<https://doi.org/10.4135/9781412953993.n184>
- Parrilli, M. D., & Alcalde Heras, H. (2016). STI and DUI innovation modes: Scientific-technological and context-specific nuances. *Research Policy*, 45(4), 747–756.  
<https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.001>
- Pereira, F., Osorio, F., Medina, L., Vesga, R., Quiroga, R., Gomez, L., ... Soler, J. D. (2012). *Colombia 2011 2012 Global Entrepreneurship Monitor* (1st ed.). Cali: Ediciones Sello Javeriano. Retrieved from  
[https://www.icesi.edu.co/cdee/images/informes/colombia/REPORT\\_GEM\\_Colombia\\_2011.pdf](https://www.icesi.edu.co/cdee/images/informes/colombia/REPORT_GEM_Colombia_2011.pdf)
- Piatier, A. (1987). Les innovations transsectorielles et la transformation des entreprises. In *Conferencia sobre las Regiones, la innovación y la Tecnología*. Barcelona: ESADE.
- Pievani, T., & Serrelli, E. (2011). Exaptation in human evolution: how to test adaptive vs exaptive evolutionary hypotheses. *Journal of Anthropological Sciences*, 89, 9–23.  
<https://doi.org/10.4436/jass.89015>
- Polhill, J. G., Parker, D., Brown, D., & Grimm, V. (2008). Using the ODD protocol for describing three agent-based social simulation models of land-use change. *JASSS*, 11(2).  
<https://doi.org/3>
- Porter, M. (1983). The Technological Dimension of Competitive Strategy. In R. Burgelman & H. Chesbrough (Eds.), *Research on technological innovation, management and policy*. Connecticut, USA: JAI Press.
- Porter, M. (1985). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*. New York, USA: The Free Press.
- Porter, M. E. (1990). *The competitive advantage of nations*. New York, USA: The Free Press.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1990). *La nueva alianza*. Madrid, España: Alianza Editorial.
- Pulgarin, S. (2013). De las organizaciones: reflexiones y aproximaciones desde la biología y la complejidad. *Revista Criterio Libre*, 11(18), 195–216.
- Pulgarín, S., & Pineda, L. (2011). La innovación estratégica: Su caracterización y un posible enfoque desde las ciencias de la complejidad. *Criterio Libre*, 9(15), 173–192.
- Pyka, A., Ahrweiler, P., & Gilbert, N. (2001). Innovation Networks - A Simulation Approach. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, 4(3), 1–14.
- Pyka, A., Ahrweiler, P., & Gilbert, N. (2004). *Simulating Knowledge Dynamics in Innovation Networks (SKIN)*. *Industry and Labor Dynamics: The Agent-based Computational Economics Approach*. New York, USA: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-43508-3>
- Quiroga, R., Barrera, M., Torres, J., Aguirre, J., Gonzales, D., Ariza, B., ... Rodríguez, J. C. (2014). *Panorama del Ecosistema de Emprendimiento de Bogotá*. Bogota. Retrieved from  
<https://es.scribd.com/document/228465431/Panorama-Del-Ecosistema-de-Emprendimiento-de-Bogota>
- Red de Camaras de Comercio. (2014). *Informe de coyuntura empresarial en Colombia*. Bogota. Retrieved from  
[http://www.confecamaras.org.co/phocadownload/Informe\\_de\\_Coyuntura/Informe\\_de\\_Coyu](http://www.confecamaras.org.co/phocadownload/Informe_de_Coyuntura/Informe_de_Coyu)

ntura\_Enero\_-\_Junio\_2014\_v3.pdf

- Robledo, J. (2010). *Introducción a la Gestión Tecnológica* (Edición El). Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Retrieved from [www.bdigital.unal.edu.co/.../1/33368425.2010.pdf](http://www.bdigital.unal.edu.co/.../1/33368425.2010.pdf)
- Rosegger, G. (1980). *The economics of production and innovation: An industrial perspective*. Oxford, UK: Pergamon Press.
- Rosenberg, N. (1969). The Direction of Technological Change: Inducement Mechanisms and Focusing Devices. *Economic Development and Cultural Change*, 18(1, Part 1), 1–24. <https://doi.org/10.1086/450399>
- Rosenberg, N. (1983). Learning by using. In N. Rosenberg (Ed.), *Inside the black box: Technology and economics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Rosenberg, N. (1996). Uncertainty and technological change. In R. Landau, T. Taylor, & G. Wrigth (Eds.), *The mosaic of economic growth* (pp. 334–353). California, USA: Stanford University Press.
- Rothwell, R., & Gardiner, P. (1985). Invention, innovation, re-innovation and the role of the user: A case study of British hovercraft development. *Technovation*, 3(3), 167–186. [https://doi.org/10.1016/0166-4972\(85\)90012-4](https://doi.org/10.1016/0166-4972(85)90012-4)
- Sahrbacher, C., Sahrbacher, A., & Balmann, A. (2014). Parameterisation of agripolis: A model of agricultural structural change. In *Empirical Agent-Based Modelling - Challenges and Solutions Volume 1: The Characterisation and Parameterisation of Empirical Agent-Based Models* (pp. 105–121). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6134-0>
- Sánchez, M. P., & Castrillo, R. (2006). La tercera edición del Manual de Oslo: Cambios e Implicaciones. *Revista I+D*, (35), 1–16.
- Sargent, R. G. (2008). Verification, validation and accreditation of simulation models. In *2000 Winter Simulation Conference Proceedings (Cat. No.00CH37165)* (Vol. 1, pp. 50–59). IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2000.899697>
- Sawhney, M., Wolcott, R., & Arroniz, I. (2007). The 12 different ways for companies to innovate. *IEEE Engineering Management Review*, 35(1), 45–45. <https://doi.org/10.1109/EMR.2007.329139>
- Schelling, T. (1978). *Micromotives and macrobehavior*. New York, USA: Norton.
- Schiffman, L., & Lazar, L. (2005). *Comportamiento del consumidor*. Mexico: Pearson Educación.
- Schreinemachers, P., & Berger, T. (2011). An agent-based simulation model of human-environment interactions in agricultural systems. *Environmental Modelling and Software*, 26(7), 845–859. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2011.02.004>
- Schumpeter, J. (1911). *The Theory of Economic Development* (1st ed.). Cambridge: Harvard University Press.
- Schumpeter, J. (1939). *Business cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process*. NBER Books. Cambridge, USA. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2006.11.007>
- Schumpeter, J. (1942). *Capitalism, socialism and democracy* (5th ed.). London, UK: Allen & Unwin.
- Şener, S., & Saridoğan, E. (2011). The Effects Of Science-Technology-Innovation On Competitiveness And Economic Growth. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 24, 815–828. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2011.09.127>
- Senge, P. (1999). *The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization*.

- New York, USA: Random House.
- Sengupta, J. (2014). *Theory of Innovation: A new paradigm of Growth*. Switzerland: Springer International Publishing.
- Senor, D., & Singer, S. (2012). *Start-Up Nation: The Story of Israel's Economic Miracle*. (Hachette Book Group, Ed.). New York, USA.
- Siggelkow, N., & Rivkin, J. (2005). Speed and search: Designing organizations for turbulence and complexity. *Organization Science*, *16*(2), 101–122.  
<https://doi.org/10.1287/orsc.1050.0116>
- Skarzynski, P., & Gibson, R. (2008). *Innovation to the core - a blueprint for transforming the way your company innovates*. Harvard Business Press. Boston, USA.
- Solé, R., & Goodwin, B. (2002). *Signs Of Life: How Complexity Pervades Biology*. New York, USA: Basic Books.
- Squazzoni, F. (2012). *Agent-Based Computational Sociology*. Chichester, UK: John Wiley & Sons.
- Sreelakshmi, S., & Preetha, K. G. (2016). *Innovations in Bio-Inspired Computing and Applications*. (V. Snášel, A. Abraham, P. Krömer, M. Pant, & A. K. Muda, Eds.), *Advances in Intelligent Systems and Computing* (Vol. 424). Cham: Springer International Publishing.  
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-28031-8>
- Stacey, R. (1997). *Complexity and Creativity in Organizations* (1st ed.). San Francisco, USA: Berrett-Koehler Publishers.
- Stacey, R. (2000). *Complexity and management*. New York, USA: Editorial Routledge.
- Stevenson, H., & Jarillo, C. (1990). A Paradigm of Entrepreneurship: Entrepreneurial Management. *Strategic Management Journal*, *11*, 17–27.
- Teece, D. (2010). Business Models, Business Strategy and Innovation. *Long Range Planning*, *43*(2–3), 172–194. <https://doi.org/10.1016/j.lrp.2009.07.003>
- Telefónica S.A. (2015). Telefonica Open Future - ¿Quiénes Somos? Retrieved January 23, 2016, from <https://www.openfuture.org/es/info/about>
- Tesfatsion, L. (2001). Introduction to the special issue on agent-based computational economics. *Journal of Economic Dynamics and Control*, *25*(3–4), 281–293.  
[https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(00\)00027-0](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(00)00027-0)
- The Breakthrough. (2012). *Escalando el emprendimiento en Colombia: entregable final para Cámara de Comercio de Bogotá*. Bogotá.
- The Economist. (2015, January 27). iFortune. *The Economist*. Retrieved from <http://www.economist.com/news/business-and-finance/21640934-extraordinary-technology-company-delivers-exceptional-set-results-quarter-pounder>
- Timmons, J., & Spinelli, S. (2012). *New venture creation: entrepreneurship for the 21st century*. New York, USA: McGraw-Hill/Irwin.
- Tushman, M., & Anderson, P. (2004). *Managing Strategic Innovation and Change: A Collection of Readings* (2nd ed.). New York, USA: Oxford University Press.
- Valdes, L. (2013). *Innovación, el arte de inventar el futuro*. Bogotá: Editorial Norma.
- Van de Ven, A., Angle, H., & Poole, M. (2000). *Research on the Management of Innovation: the Minnesota Studies*. New York, USA: Oxford University Press.
- Van de Ven, A., & Poole, M. (2004). *Theories of organizational change and innovation processes*. *Handbook of organizational change and Innovation*.
- Varela, R. (2008). *Innovación Empresarial: Arte y ciencia en la creación de empresas* (3rd ed.). Bogotá, Colombia: Pearson Educación.

- Varela, R., Moreno, J. A., & Soler, J. D. (2013). *Global Entrepreneurship Monitor Caribbean: 2012 Colombian National Report*. Cali.
- Velasco, E., & Zamanillo, I. (2008). Evolución de las propuestas sobre el proceso de innovación: ¿qué se puede concluir de su estudio? *Investigaciones Europeas de Dirección Y Economía de La Empresa*, 14(2), 127–138. [https://doi.org/10.1016/S1135-2523\(12\)60027-6](https://doi.org/10.1016/S1135-2523(12)60027-6)
- Velasco, E., Zamanillo, I., & Gurutze, M. (2007). Evolución de los modelos sobre el proceso de innovación: Desde el modelo lineal hasta los sistemas de innovación. *Decisiones Organizativas*, 1–15. <https://doi.org/10.1111/aman.12336>
- Verba, S., King, G., & Keohane, R. (1994). *Designing social inquiry scientific inference in qualitative research*. Princeton, USA: Princeton University Press.
- Vesga, R., Rodriguez, M., Schnarc, D., & García, O. (2015). *El emprendimiento dinámico en Colombia: Emprendedores en Crecimiento*. Bogota.
- Wagner, A. (2011). *The Origins of Evolutionary Innovations: A Theory of Transformative Change in Living Systems*. New York, USA: Oxford University Press.
- Wagner, A. (2015). *Arrival of the Fittest: How Nature Innovates*. New York: Penguin Group.
- Wall, F. (2016). Agent-based modeling in managerial science: an illustrative survey and study. *Review of Managerial Science*, 10(1), 135–193. <https://doi.org/10.1007/s11846-014-0139-3>
- Walters, P. (1981). *An introduction to ergodic theory*. New York, USA: Springer.
- Watts, C., & Gilbert, N. (2014). *simulating innovation: Computer-based tools for rethinking innovation*. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited.
- wayra.co. (2015). Bienvenido a Wayra Colombia. Retrieved January 23, 2017, from <http://wayra.co/sp/co>
- Weber, M. (1978). *Economy and Society: An Outline of Interpretive Sociology*. Berkeley, USA: University of California Press.
- West, G., Bettencourt, L., Lobo, J., Helbing, D., & Kühnert, C. (2007). Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(17), 7301–7306. <https://doi.org/10.1073/pnas.0610172104>
- Whittaker, R. (1972). Evolution and Measurement of Species Diversity. *Taxon*, 21, 213–251. <https://doi.org/10.2307/1218190>
- Wilensky, U. (2002). NetLogo PD N-Person Iterated model. Evanston: Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Retrieved from <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/PDN-PersonIterated>
- Wilensky, U. (2017). *NetLogo 6.0.1 User Manual*. Evanston: Northwestern University. Retrieved from <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>
- Wilensky, U., & Rand, W. (2015). *An Introduction to Agent-Based Modeling: Modeling Natural, Social, and Engineered Complex Systems with NetLogo*. Cambridge, UK: MIT Press.
- Williams, G. (1966). *Adaptation and Natural Selection: A Critique of Some Current Evolutionary Thought*. New Jersey, USA: Princeton University Press.
- 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), 8–38.
- Wolfe, R. A. (1994). Organizational innovation: review, critique and suggested research directions. *Journal of Management Studies*, 31(3), 405–431. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1994.tb00624.x>
- Wolfram, S. (1984). Computation theory of cellular automata. *Communications in Mathematical*

*Physics*, 96(1), 15–57. <https://doi.org/10.1007/BF01217347>

Wood, R. (2009). Modeling Biology: Structures, Behaviors, Evolution. *Artificial Life*.

WOS. (2017). Analisis de publicaciones: Agent-Based Modelling + Innovation.

Wright, S. (1932). The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution. In *6th International Congress on Genetics* (pp. 356–366).

Xiao, F., Ligteringen, H., Van Gulijk, C., & Ale, B. (2013). Nautical traffic simulation with multi-agent system for safety. In *IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems, Proceedings, ITSC* (pp. 1245–1252). <https://doi.org/10.1109/ITSC.2013.6728402>

Yang, X.-S., Cui, Z., Xiao, R., Gandomi, A., & Karamanoglu, M. (2013). *Swarm intelligence and bio-inspired computation: theory and applications*. London, UK: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-405163-8.00001-6>

Zhang, M. (2009). *Competitiveness and Growth in Brazilian Cities*. (M. Zhang, Ed.). Washington DC: The World Bank. <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-8157-1>

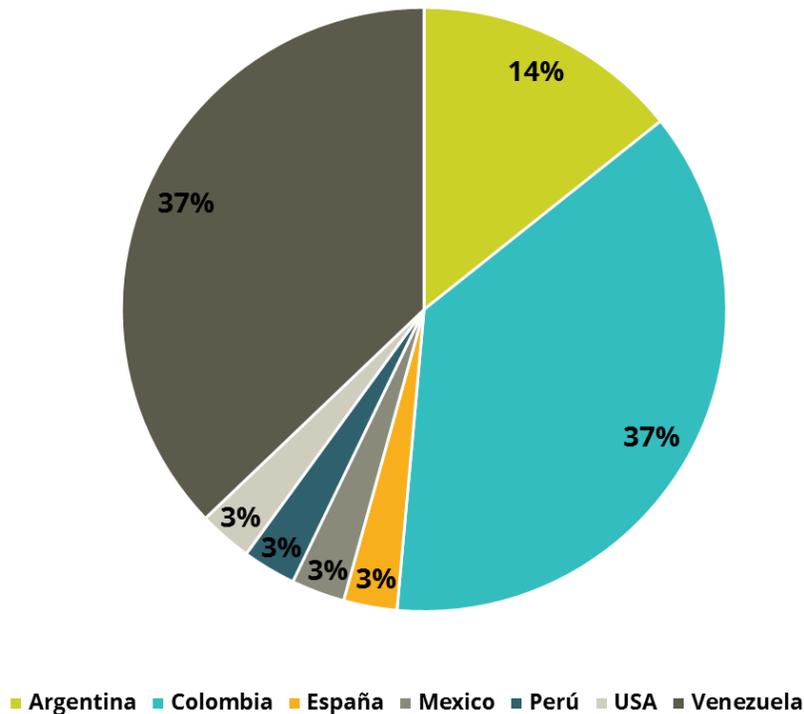
Ziman, J. (2000). *Technological innovation as an evolutionary process*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

## 10. Anexos

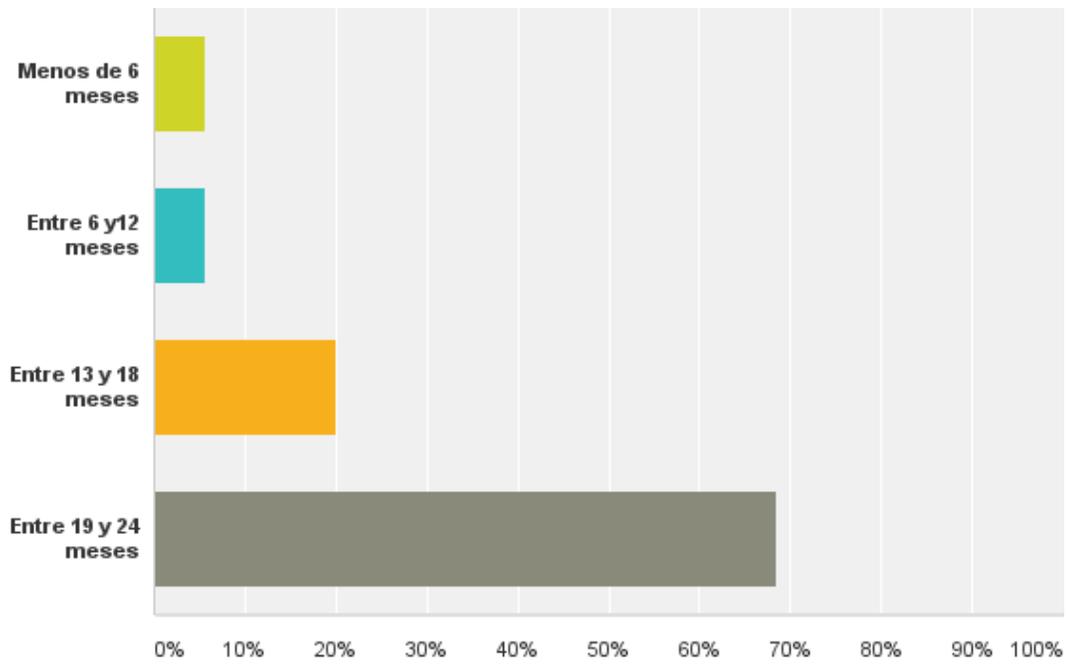
### 10.1. Anexo 1 (resultados de la encuesta aplicada en Wayra Global)

Respuestas totales: 35

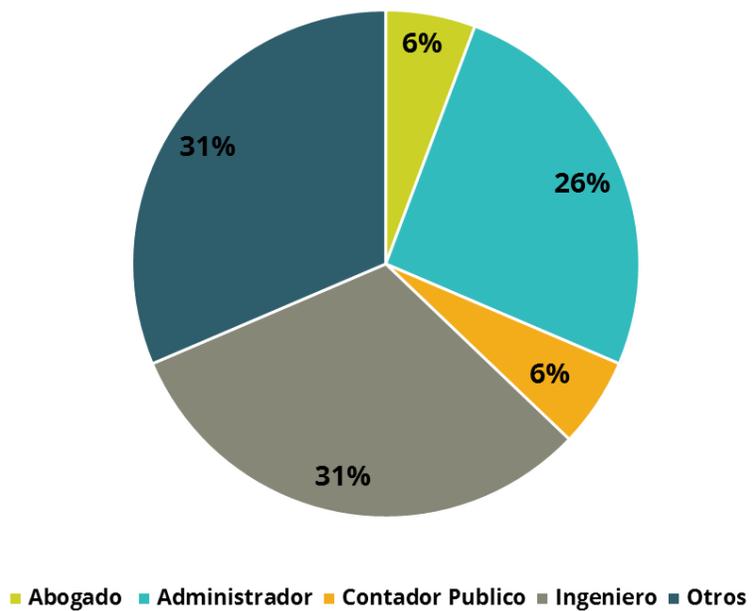
Q1: ¿En qué país se encuentra la casa matriz u oficina principal de su StartUp?



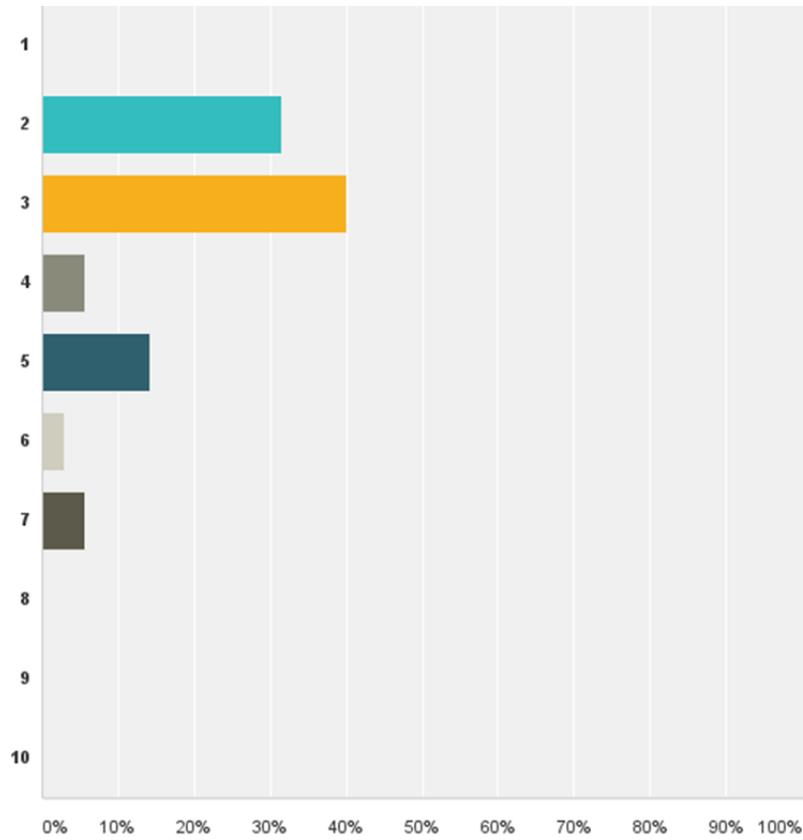
Q2: ¿Hace cuánto inició con su StartUp actual?



Q3: ¿Cuál es su profesión?

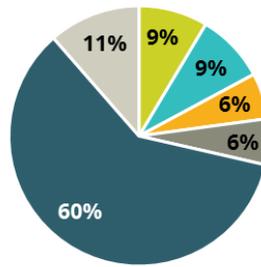


Q4: Indique el número de socios fundadores de su StartUp



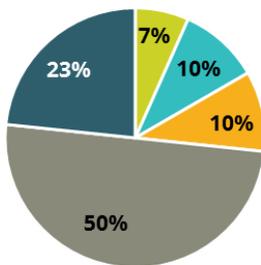
Q5: ¿Cuál es la profesión básica de su actual socio o socios?

**Socio 1 - N=35**



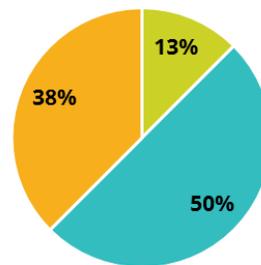
■ Abogado ■ Administrador ■ Contador ■ Educador ■ Ingeniero ■ Otros

**Socio 2 - N=30**



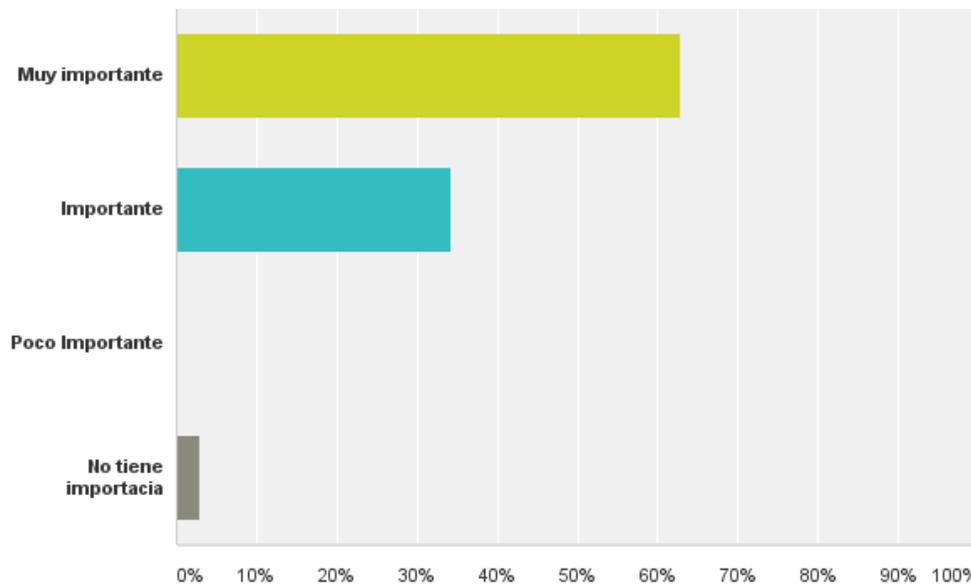
■ Administrador ■ Diseñador ■ Economista  
■ Ingeniero ■ Otros

**Socio 3 - N=16**

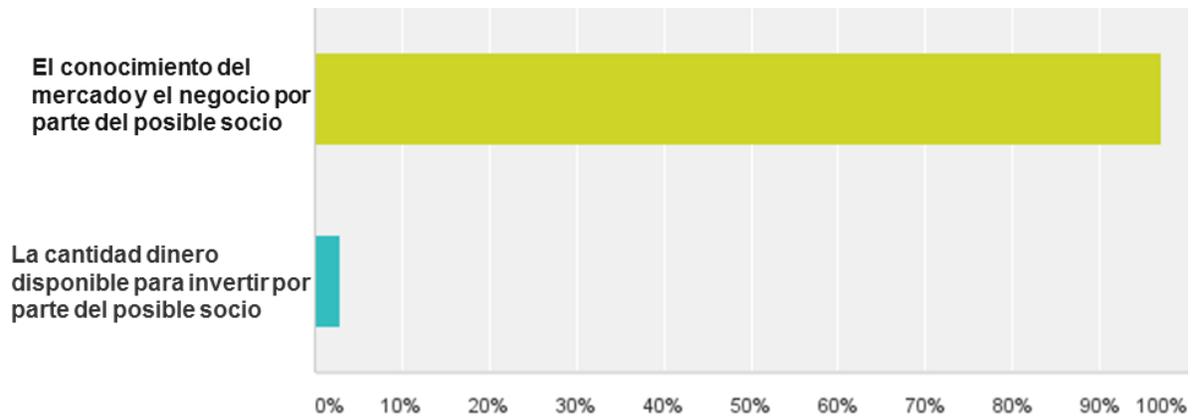


■ Administrador ■ Ingeniero

Q6: ¿Qué tan importante es para usted que su socio o socios se encuentren formado(s) en un área de estudio diferente a la suya?



Q7: ¿Qué característica es más importante para usted al momento de escoger un socio?



Q8: Dada su respuesta anterior, ¿en qué proporción es más importante?

