



**DOCTORADO EN CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS**

**EMERGENCIA GLOBAL DEL ECOSISTEMA FINANCIERO COMPUTACIONAL**

**Requisito parcial para optar al título de**

**DOCTOR EN CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS  
DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA**

**2020**

**ESTUDIANTE: OSCAR GRANADOS**

**DIRECTORA DE LA TESIS**

**ILIANA HERNÁNDEZ GARCÍA, PhD**

**CO-TUTOR DE LA TESIS**

**RAÚL NIÑO BERNAL, PhD**

## CERTIFICADO DE AUTORÍA

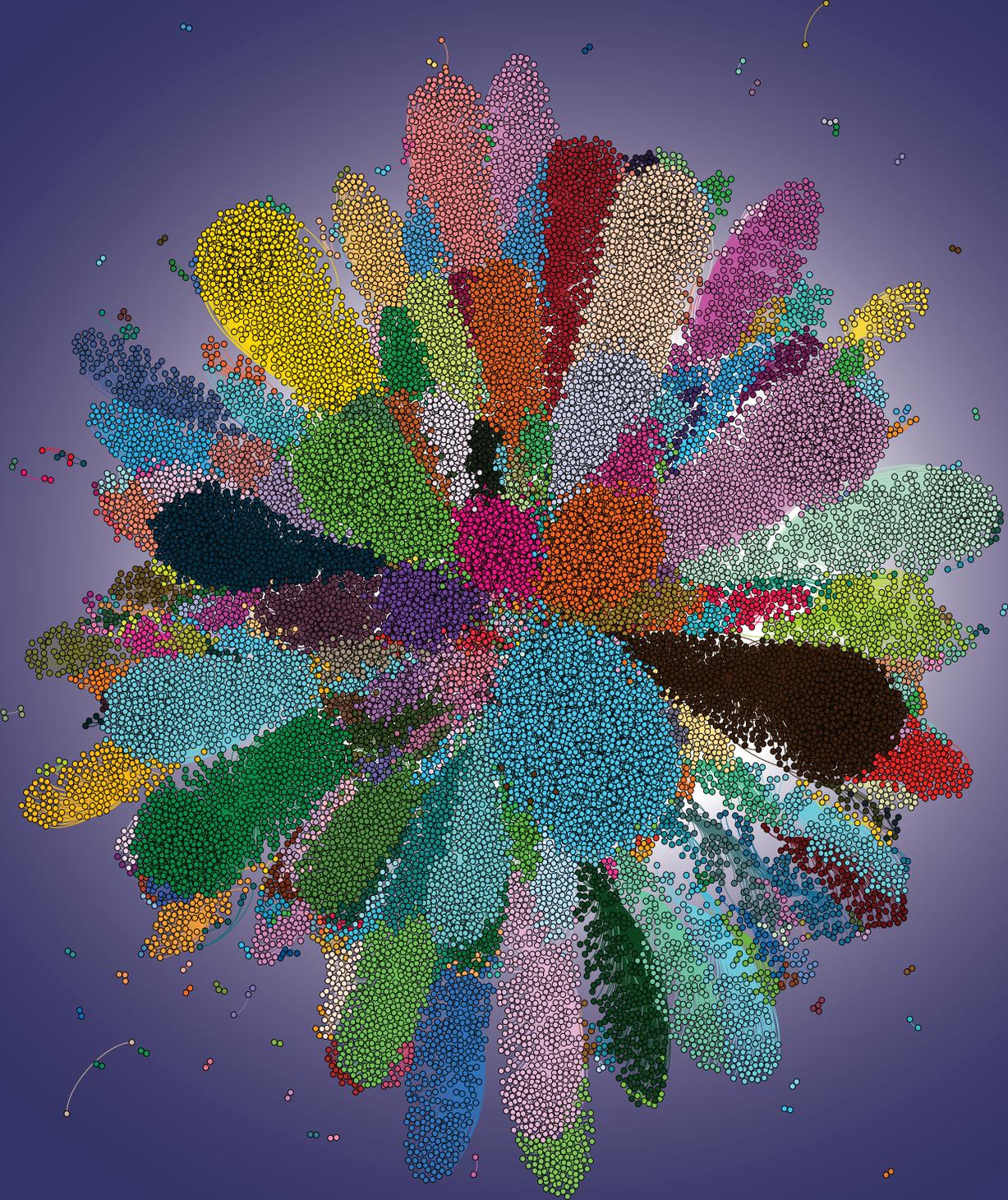
Yo, OSCAR MAURICIO GRANADOS ERAZO, declaro que esta tesis, elaborada como requisito parcial para obtener el título de DOCTOR EN CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS de la Pontificia Universidad Javeriana es de mi autoría, excepto en donde se indique lo contrario. Este documento no ha sido sometido para su calificación en ninguna otra institución académica.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Oscar Mauricio Granados Erazo'.

Oscar Mauricio Granados Erazo

Junio 12 de 2020

# Emergencia global del ecosistema financiero computacional



Oscar Granados

*Para Isabel y el futuro en que vivirá...*

## Contenido

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
1. En la sala de espera	2
1.1 Antes de abordar	10
1.2 Primer Llamado	18
1.3 Símbolos e itinerario	26
2 Eukaryote	31
2.1 Un sistema de agentes	32
2.2 Conectando el ecosistema	38
2.3 Escapando de Moscú	46
2.4 Una primera emergencia	53
3 Tecnología en Eukaryote	74
3.1 Transformación como una conexión	77
3.2 Viajando en las escalas de tiempo	81
3.3 Todos son diferentes	93
3.4 Una segunda emergencia	98
4 Simbiosis + Sinapsis	107
4.1 Ecosistema de inteligencia artificial	108
4.2 Superinteligencia	118
4.3 Buscando el espacio-tiempo cuántico	127
4.4 Una tercera emergencia	133
5 Alumbrando la oscuridad de un abismo	138
5.1 Preparando a los nanoagentes	140
5.2 Entre Darwin y Holland	147
5.3 Escala en Budapest	156
5.4 De vuelta a la Disco en Kazán	162
6 Realidad en Update	169
6.1 De lo real a lo sintético	170
6.1.1 Una primera lluvia	171
6.1.2 Humanos y Máquinas	173
6.1.3 Sin límites de espacio	175
6.1.4 Espectadores en un ecosistema computacional	178

6.1.5	Detrás de la manzana del Amazonas	180
6.1.6	Un ecosistema vigilado	183
6.2	Libro de códigos	185
6.3	Calibrando la máquina del tiempo	206
6.4	Ecología financiera en microtiempos y microespacios	211
7	Epílogo: Futuros posibles	228
7.1	Superando el límite de nuestros sentidos	229
7.2	Saliendo de Eukaryote	241
7.3	Nueva Gaia	250
	Material Suplementario	259
	A. Red de personajes	260
	B. Códigos del mercado de acciones	261
	Referencias	263
	Fuentes Primarias	263
	Fuentes Secundarias	263

## Lista de Figuras

Figura 2.1. Interacciones entre agentes	33
Figura 2.2. Conectividad	37
Figura 2.3. Interacciones entre agentes en un ecosistema (redes multicapas)	44
Figura 2.4. Capas del ecosistema financiero global	45
Figura 2.5. Redes Dinámicas	48
Figura 2.6. Redes de libre escala	49
Figura 2.7. Procesos dinámicos en redes multicapas	52
Figura 2.8. Redes internacionales de agentes financieros antes de 1900	59
Figura 2.9. Redes de agentes financieros ante situaciones de crisis	64
Figura 2.10. Cantidad de bancos en Estados Unidos, 1896-2018	66
Figura 2.11. Firmas de inversión en Estados Unidos, 1929	68
Figura 2.12. Bancos como agentes financieros en el ecosistema financiero global	71
Figura 3.1. Evolución de patentes solicitadas versus patentes asignadas 1883-2018	75
Figura 3.2. Interacciones entre agentes financieros con cambios tecnológicos	82
Figura 3.3. Red de corresponsales de Rothschild durante el siglo XIX	84
Figura 3.4. Análisis de cajeros automáticos (ATM)	89
Figura 3.5. Redes temporales	91
Figura 3.6. Adopción de la tecnología	94
Figura 3.7. Adopción de la tecnología de varios agentes	95
Figura 3.8. Clúster de transición	101
Figura 3.9. Complejo Simplicial	104
Figura 4.1. Evolución de la investigación en Inteligencia Artificial	110
Figura 4.2. Ecosistema de inteligencia artificial	112
Figura 4.3. Agujero de Gusano	132
Figura 4.4. Triángulos hiperbólicos	135
Figura 5.1. Juego de la vida de Conway	146
Figura 5.2. Superficie Adaptativa	149
Figura 6.1. Interacciones de un corresponsal bancario	172
Figura 6.2. Interacciones en con una red de cajeros automáticos	174
Figura 6.3. Interacciones en una red financiera global	176
Figura 6.4. Visualización del Ecosistema de criptomonedas en 2019 a través de aproximaciones	179
Figura 6.5. Ecosistemas en el mercado de acciones	182
Figura 6.6. Ecosistema en el mercado de divisas	184
Figura 6.7. Ecosistema global del mercado de acciones	189
Figura 6.8. Ecosistema global del mercado de divisas	191
Figura 6.9. Visualización de las primeras simulaciones a partir del código escrito	205
Figura 6.10. Interacciones de los mercados financieros en un segundo	209
Figura 6.11. Escala de tiempo logarítmica	210
Figura 6.12. Topología de operaciones entre agentes en un segundo sobre una escala en milisegundos	216

Figura 6.13. Distribución de las operaciones por agente financiero	217
Figura 6.14. Topología de operaciones en un segundo sobre una escala en milisegundos	221
Figura 6.15. Latencia y operaciones globales en milisegundos	224
Figura 7.1. Diferentes perspectivas de una red de 10 milisegundos en tres dimensiones	232
Figura 7.2. Diferentes perspectivas de una red de 10 milisegundos en plano hiperbólico en tres dimensiones	233
Figura 7.3. Secuencia topológica en 3 dimensiones de operaciones en un milisegundo	235
Figura 7.4. Ecosistema multidimensional y multiescalar	256

## **Agradecimientos**

Esta tesis es el resultado de algo no planeado, fue un viaje en el que mi imaginación y mi conocimiento, ambos en evolución, se fusionaron indistintamente con conferencias internacionales, clases, lecturas científicas, lecturas menos científicas, reuniones, noches de televisión, conversaciones agradables y otras no tan agradables, diseños y un sinnúmero de experiencias que día a día fueron formando este texto. Fue un proceso en el que se saltaba de un modelo matemático entendible después de horas, en ocasiones, días o semanas a modelar redes e incorporarles un festival de colores que se conectaba con mi interés por diseñar una historia estética y visualmente agradable.

Después de un largo tiempo de escritura y lectura insaciable, de alegrías y frustraciones intelectuales, de horizontes difusos y angustiantes y de un aprendizaje que no termina en la última página, debo agradecer especialmente a mi hija Isabel pues creció de la mano de este proyecto y su alegría y comprensión mostraron su respeto a la individualidad que encarna la escritura de una tesis doctoral. Al llegar a las últimas partes del documento, ya compartíamos varias de las visualizaciones y sus sugerencias permitieron sortear varias de mis limitantes artísticas. También a mi esposa Milena, porque esta es la segunda vez en la que no tengo como pagarle su sacrificio silencioso, nunca emotivo, pero si real, el cual fue fundamental para lograr este proyecto.

A mis padres, quienes entendieron este proyecto en su sabiduría de vida, pues la admiración que habitualmente tienen los padres por sus hijos no los nubló y siempre me dieron los toques oportunos de realidad para que continuara aprendiendo sin perder el norte. Sus esfuerzos han sido invaluable en cada uno de los ciclos de mi vida académica. A mi sobrino Nicolás, quien impulsó mis ideas de visualización y el interés por explorar la conexión entre arte y ciencia. A mi hermana Mónica, pues su estilo único no dejó pasar mis angustias y ansiedades a los espacios familiares; a mi sobrina Natalia, quien aterrizó mis malos vuelos en este proyecto y que con su crítica mordaz me ayudó a direccionar mi vida doctoral.

Finalmente, agradezco a mis directores de tesis Iliana Hernández y Raúl Niño, quienes me ayudaron a llegar a los espacios transdisciplinarios. Ellos rescataron una vieja intriga intelectual, la cual tímidamente salía a la luz cuando me cuestionaba sobre la explicación de muchas situaciones cotidianas. A Andrés Vargas, mi director de pasantía de investigación en el Departamento de Matemáticas que abrió la puerta de su conocimiento para escuchar mis ideas y tratar de convertir varias de ellas en matemáticas, pero a su vez, para entregarme una llave que había perdido y con la que pude abrir el compartimento de mi gusto por la topología y la geometría. A Juan Gómez del Departamento de Ingeniería de Sistemas por compartir su visión social de la tecnología.

## Resumen

El ecosistema financiero está compuesto por agentes e interacciones en un sistema abierto que genera segundo a segundo miles de interacciones entre agentes humanos, no humanos y exobiológicos. Al ser los sistemas financieros parte de la complejidad social y como resultado de una creciente transformación tecnológica, esta tesis hace referencia a una forma transdisciplinar de pensar que ayude a resolver las preguntas sobre la evolución del ecosistema y de buscar las respuestas en la sabiduría colectiva de un grupo de ciencias y no en el egoísmo y las verdades absolutas de la disciplinariedad.

Esta tesis acude a los sistemas complejos, a la ciencia de redes, a las ciencias computacionales, a la biología evolutiva, a la topología, a la geometría, a la historia, a la economía, a la sociología y a la ficción para identificar los futuros posibles que tiene el ecosistema financiero al incorporar las transformaciones tecnológicas, la simbiosis con el ecosistema tecnológico y la sinapsis de las inteligencias natural y artificial. Es entender la emergencia de un ecosistema computacional como resultado de una simbiogénesis y una vida computacional no conocida. Pero también, de una fusión científica pues, con la articulación de varias ciencias, se logran simular las interacciones que no son visibles en la escala humana, ya que con la sinapsis de las inteligencias será fácil interactuar en microtiempos y microespacios, reduciendo las diferencias temporales y espaciales que nos han acompañado.

¿Cuál es el futuro de los agentes financieros? ¿Cómo será la interacción entre los agentes financieros? ¿Por qué las transformaciones y convergencias tecnológicas cambiarán al ecosistema? En las próximas páginas se conocerá sobre la evolución de los agentes financieros desde una perspectiva histórica hasta la simulación computacional de los futuros posibles del ecosistema. Es así como se articulan fuentes históricas, modelos matemáticos, argumentos sociológicos y filosóficos, teorías de la física, guiones cinematográficos, simulaciones, código computacional e imaginación para identificar la emergencia global del ecosistema financiero computacional. Un ecosistema en el que las aglomeraciones digitales serán la forma de interactuar entre agentes humanos, no humanos y exobiológicos, pero también de coevolucionar hacia una nueva forma de interactuar en Gaia, una nueva Gaia.

El lector debe estar preparado para aprender de los mecanismos que identifican a los agentes financieros, de la dinámica del ecosistema, de los procesos de transmisión, difusión y transición de la tecnología, de la simbiosis de los ecosistemas, de la sinapsis de las inteligencias y la simbiogénesis de un nuevo tipo de agentes financieros, siempre en el marco de la ciencia de redes, pues los agentes se moverán indistintamente en el ecosistema y entender la distancia entre ellos será fundamental. También para alternar en diferentes dimensiones temporales y espaciales, pues como sistema abierto, esta tesis explora su curiosidad y si quiere profundizar un hecho o una narración específica deberá salir de la tesis o buscar en su interior los senderos que lo lleven a encontrar las respuestas.

## **Abstract**

The financial ecosystem is made up of agents and interactions in an open system that generates, second to second, thousands of interactions between human, non-human, and exobiological agents. As financial systems are part of social complexity and as a result of increasing technological transformation, this thesis refers to a transdisciplinary way of thinking that helps to answer questions about the ecosystem evolution of and to seek answers in the collective wisdom of a group of sciences and not in selfishness and the absolute truths of disciplinarily.

This thesis turns to complex systems, network science, computer science, evolutionary biology, topology, geometry, history, economics, sociology, and fiction to identify possible futures that the financial ecosystem has by incorporating technological transformations, symbiosis with the technological ecosystem, and the synapse of natural and artificial intelligence. It is to understand the emergence of a computational ecosystem because of symbiogenesis and unknown computational life. But also, of a scientific fusion because, with the articulation of several sciences, it is possible to simulate interactions that are not visible on the human scale, since with the synapse of both intelligence will be easy to interact in micro-times and micro-spaces, reducing temporal and spatial differences that have accompanied us.

What is the future of financial agents? How will be the interaction between those agents? Why will technological transformations and convergences change the ecosystem? In the following pages, we will learn about the evolution of financial agents from the historical perspective until the computational simulation of the ecosystem's possible futures. In consequence, I articulated historical sources, mathematical models, sociological and philosophical arguments, physics theories, scripts, simulations, computational code, and imagination to identify the global emergence of the computational financial ecosystem. In this ecosystem, the digital agglomerations will be the form of interacting between human, non-human, and exobiological agents, but also to co-evolving towards new ways of interacting in Gaia, a new Gaia.

The reader must be prepared to learn from the mechanisms that identify financial agents, from the ecosystem dynamics, from processes of transmission, diffusion, and transition of technology, from the ecosystems symbiosis, from the synapse of both intelligence and the symbiogenesis of a new type of financial agents, always in the network science framework. Because the agents will move interchangeably in the ecosystem, and understanding the distance between them will be fundamental. Also, to alternate in different temporal and spatial dimensions because as an open system, this thesis explores your curiosity, and if you want to deepen a fact or a specific narration, you must leave it or look inside the paths that lead you to find the answers.



1

En la sala de espera

## 1. En la sala de espera

La interacción global de los agentes financieros<sup>1</sup> ha transformado a los sistemas económicos y sociales desde las transacciones mercantiles del siglo XIV, a los intercambios de información del siglo XX y más recientemente, de conocimiento en el siglo actual, emergiendo estructuras y dinámicas propias de esa interacción y fundamentadas en un espacio-tiempo lejos de ser absoluto y único (Hawking, 1988; Johnson, 2007). En las primeras etapas de este ecosistema, al que llamo Eukaryote<sup>2</sup>, varios agentes se dedicaron a la intermediación y financiación del comercio impulsando sociedades de campesinos, mineros y artesanos, pero que durante el siglo XIX tomaron la decisión de dedicarse exclusivamente a los servicios bancarios consistentes en crédito y captación de recursos para ahorro e inversión. Aunque nunca prometieron un sentimiento de benevolencia hacia los demás, los agentes financieros sí prometieron desarrollar una actividad que los beneficiara a ellos y a la sociedad en general. Estos agentes eran humanos, demasiado humanos como diría Nietzsche y para finales del siglo XX, algunos de ellos abandonaron la actividad bancaria tradicional que los atrajo en el siglo anterior y se dirigieron a la gestión de activos

---

<sup>1</sup> Los agentes financieros hacen referencia a toda aquella institución financiera o bancaria que desarrolla actividades en el sector financiero. Las actividades que desarrolla un agente financiero están en las áreas de banca de inversión, banca corporativa y gubernamental (créditos sindicados), banca comercial, servicios financieros para consumidores y pequeñas empresas, procesamiento de transacciones financieras, banca privada, gestión de activos, inversiones y fortunas, servicios de compra y venta de activos financieros, servicios de tesorería y comercio exterior, operaciones de cambio, derivados y estructuras financieras, banca mercantil y gestión de fondos especializados como los fondos de cobertura, capital privado o bienes raíces. Estas son las actividades principales de la mayoría de los bancos globales, aunque algunos otros bancos con un radio de acción localizado en una región o país pueden tener las mismas actividades, pero no logran interactuar a nivel global.

<sup>2</sup> Aunque existen varias fuentes para definir Eukaryote, una definición básica establece que eucariota es un organismo con una célula o células complejas, en el que el material genético está organizado en un núcleo o núcleos unidos a la membrana. Adicionalmente, los eucariotas comparten un origen común y a menudo, son tratados como super-reino, imperios o dominios; en él se encuentran animales, plantas y hongos, que en su mayoría son multicelulares y así como varios otros grupos que no se clasifican en los tres grupos anteriores y se integran al grupo de los no clasificados conocido como protistas, muchos de los cuales son unicelulares (Futuyma & Kirkpatrick, 2017). La incorporación de Eukaryote en este contexto hace referencia a un ecosistema conocido con el que hemos habitado desde tiempo atrás y, así como este ha tenido pequeñas transformaciones, el ecosistema financiero también, aunque se abre la posibilidad para que los cambios en las próximas décadas sean cada vez más fuertes e iniciemos la integración con otros ecosistemas.

financieros y a la creación de vehículos especializados de inversión como los fondos de cobertura, de capital privado y de capital de riesgo.

Desde finales del siglo XX y principios del siglo XXI, los agentes financieros han incrementado el uso de herramientas como los procesos estocásticos, las probabilidades binomiales, las ecuaciones diferenciales estocásticas, la optimización multiobjetivo, la programación no lineal y dinámica, los algoritmos evolutivos y genéticos, la mecánica estadística, la física cuántica, entre otras, para complementar la oferta de servicios y productos financieros o resolver situaciones cada vez más complejas en los mercados globales como la diversificación de los portafolios de inversión, la volatilidad, el riesgo sistémico, los contagios financieros, la cesación de pagos, los ataques especulativos y las crisis, creando nuevos campos científicos como la econofísica, la economía cuántica, la física financiera y las finanzas computacionales. En lo que va corrido del siglo XXI, las finanzas se direccionan hacia una integración computacional a través de la convergencia tecnológica NBIC (nanotecnología, biotecnología, tecnologías de la información y ciencias cognitivas y tecnologías del conocimiento), las matemáticas computacionales, la computación evolutiva, la inteligencia artificial y no muy lejos, la computación cuántica, acompañadas por las discontinuidades propias del conocimiento que alientan la creación y la innovación, pero también de su aplicación a las necesidades humanas y su progreso, así como a las herramientas para la investigación donde ya se direccionan procesos de neurotecnología que evolucionan con el mejoramiento del desempeño humano (Bainbridge & Roco, 2006; Maldonado, 2005; Roco, 2006). El ecosistema financiero global se aleja de la linealidad y se integra a la complejidad, es decir, este ecosistema como los demás es un ejemplo prototípico de sistemas adaptativos complejos (Levin, 1998), donde los acoplamientos hombre y máquina, así como los conceptos de singularidad tecnológica, empiezan a tener mayor cabida en los sistemas financieros,

al punto de pensar en los agentes financieros como organizaciones en las que la tecnología y el capital se integran necesariamente<sup>3</sup>. No sabremos hasta cuando se presente esta integración, posiblemente será hasta mucho antes de que Gaia<sup>4</sup> ceda a la inclemencia del cambio climático, a la vanidad de algún agente humano con capacidad de activar agentes no humanos de destrucción masiva o a la simbiosis biológica de algún patógeno desconocido que afecte a los agentes humanos<sup>5</sup>.

La convergencia NBIC está creando herramientas que permiten mejorar el rendimiento humano, acelerar la innovación e incrementar las interacciones humanas y no humanas. En esta convergencia, la inteligencia natural<sup>6</sup>, la inteligencia artificial<sup>7</sup>, el aprendizaje automático (machine learning), la bioinformática, la neuroinformática, la nanoelectrónica, así como la

---

<sup>3</sup> La singularidad tecnológica planteada desde diferentes perspectivas, en primera instancia por John Von Neumann, y posteriormente por Ray Kurzweil y Vernor Vinge, establece que la tecnología y la inteligencia artificial tienen la posibilidad de auto mejorarse constantemente al punto de crear una superinteligencia que supera la limitación de la inteligencia humana. Este concepto se apoya inicialmente en la Ley de Moore de Gordon Moore que estableció en 1965 cómo se iba a duplicar el número de transistores en un procesador cada dieciocho meses, haciendo claridad en la explosión tecnológica que esto acarrearía. Pero más recientemente, se convierte en una forma de entender al “pensador brillante” y el poder de la duplicación constante, es decir, la duplicación de las innovaciones tecnológicas ocurre más rápido y el crecimiento exponencial es más relevante (Brynjolfsson & McAfee, 2014).

<sup>4</sup> *Gaia* surge en la mitología griega como la diosa que personifica a la Tierra y que en la mitología romana se conoce como *Tellus*. Como concepto surge con los trabajos de James Lovelock y se identifica con pensar en la Tierra como un sistema completo, es decir, como un sistema único compuesto por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos que evoluciona durante largos periodos de autorregulación y de estabilidad dinámica, conocido como homeostasis, que se integran a los cambios súbitos de los organismos y el entorno, construyendo una evolución sistémica de la Tierra. Para una ampliación de la teoría de Gaia, véase: Lovelock (1979; 1990; 2003a), las respuestas de Lovelock a Kirchner y Volk (2003b), Lovelock & Margulis (1974) y Margulis & Lovelock (1974).

<sup>5</sup> Algunos autores han manifestado la necesidad de incorporar una infraestructura de sensores que permita rastrear los cambios ambientales y las reacciones de las sociedades para apoyar la autorregulación de Gaia, conocida como Gaia 2.0 (Lenton & Latour, 2018), pero en la que será fundamental la autorregulación y la autoconciencia de los agentes humanos (Morton, 2015).

<sup>6</sup> La inteligencia natural o la inteligencia humana hace referencia a la capacidad de inferir cualquier tipo de información y transformarla en conocimiento (proceso cognitivo) para aplicarla a la cotidianidad de la vida humana o adaptarla para interactuar en escenarios dinámicos que requieren de una permanente adaptación, experimentación, razonamiento y creatividad. Para una ampliación del concepto de inteligencia humana, véase: Colom et al (2010) y Sporns (2010).

<sup>7</sup> La inteligencia artificial hace referencia a la capacidad que cualquier dispositivo no humano perciba su entorno y tome medidas que maximicen sus posibilidades de lograr con éxito sus objetivos o como la capacidad de los sistemas computacionales de imitar funciones cognitivas de la inteligencia natural. Para una profundización general del concepto, véase: Mitchell, M. (2019) y Rusell & Norvig (1995).

computación cuántica son parte de una nueva realidad en el ecosistema financiero (Golledge, 2004; Spohrer & Engelbart, 2004; Roco, 2004; Trujillo, 2013). Sumado a esto, el software se integra como un lenguaje para funcionar sobre conjuntos de datos que permiten ser modificados, calculados y simulados, en los que los nuevos desarrollos están en permanente transformación con los procesos colaborativos de código abierto, porque cualquiera puede usarlo y porque no hay un límite al número de algoritmos y herramientas matemáticas que pueden ser aplicadas (Cutting, 2019; Lévy, 1995; Manovich, 2013). Adicionalmente, las actividades que pueden ser implementadas con la inteligencia artificial y el aprendizaje automático permiten la integración de altos volúmenes de datos con la toma de decisiones de los agentes financieros, facilitando la optimización de los recursos. Esto se traduce en nuevos estándares que mejoran los sistemas sociales, aunque también pudiendo abusar de ellos cuando los agentes humanos olvidan la ética como factor fundamental de las actividades financieras.

Esta evolución de las herramientas científicas y tecnológicas ha incentivado a los agentes financieros, tradicionales y no tradicionales, a detectar oportunidades y desafíos en los mercados globales, a crear nuevos vehículos de inversión, a definir nuevas relaciones de cooperación entre empresas, a implementar nuevos canales de interacción con los usuarios, a consolidarse cada vez más en la economía de los datos, la economía de la información y la sociedad del conocimiento (Brynjolfsson & Saunders, 2010)<sup>8</sup>. Así como la publicidad salió de la Avenida Madison en Nueva York para internarse en los espacios digitales y virtuales, las finanzas parecen que salieran de las calles de Eukaryote, porque la transformación constante de los agentes a través de la tecnología

---

<sup>8</sup> La información funciona como un bien que, a diferencia de los bienes tradicionales, puede ser consumida por varios agentes a la vez, en otros términos, no rivaliza como los bienes tradicionales y tampoco es excluyente; véase: (DeLong & Froomkin (2000). Las industrias del conocimiento utilizan el conocimiento y su transformación para la generación de valor, el incremento de la productividad y el mejoramiento de la competitividad, en el que los datos son un recurso fundamental.

aplicada a los servicios y productos financieros (Fintech) ha permitido una reconfiguración de las transacciones, la gestión del riesgo y el cumplimiento de las operaciones. Así, como el desarrollo de otros esquemas como la financiación colectiva (crowdfunding), el préstamo entre particulares (crowdlending), los registros digitales encadenados (blockchain), las monedas digitales y también, el uso de datos masivos y la simulación computacional para entender comportamientos emergentes de una sociedad de usuarios financieros que evoluciona. Estas interacciones entre los agentes financieros y entre estos y los agentes humanos, han creado ecosistemas y redes financieras<sup>9</sup> que ante los cambios tecnológicos se ven transformados al igual que la sociedad y la economía, creando una disrupción dentro de ellos<sup>10</sup>. Esta evolución se define a partir de las interconexiones en un ecosistema que opera permanentemente por el flujo de información y conocimiento, así como por las interacciones entre los agentes, debido a que la economía global es un sistema policéntrico, difuso<sup>11</sup>, heterogéneo y complejo por el número de elementos en interacción dinámica que lo constituyen y que cuentan con un alto grado de autoorganización (Barabási & Albert, 1999; Braidotti, 2013; Rosnay, 1995).

El ecosistema financiero es un sistema complejo adaptativo y dinámico donde los efectos interactúan con sus causas (Rosnay, 1995). Las finanzas han evolucionado con las

---

<sup>9</sup> Los sistemas naturales o aquellos creados por el hombre pueden ser representados por una red (Albert & Barabási, 2002), por lo tanto, entiéndase por redes financieras, los vínculos (interacciones) entre los agentes (nodos) financieros que integran a las diferentes organizaciones financieras y bancarias como bancos, fondos de inversión y otros intermediarios financieros. Así mismo, la modelación basada en agentes (ABM por sus siglas en inglés) ha demostrado ser útil para explorar problemas de sistemas complejos y sistemas complejos adaptativos como la dependencia de la trayectoria, los efectos del comportamiento adaptativo versus el racional, las consecuencias de la heterogeneidad entre los agentes, los efectos de la estructura de la red o los efectos de la exploración de nuevos conocimientos, véase: Axelrod (2006) y Gómez (2013).

<sup>10</sup> Las redes funcionan de diferentes formas y las redes financieras son redes reales complejas que pueden tener diversas variaciones y comportamientos que se asemejan a las condiciones virales de partículas o bacterias de la inteligencia de enjambres, las redes neuronales y las redes de libre escala. Igualmente, la simultaneidad de éstas con otros sistemas artificiales y digitales.

<sup>11</sup> Cuando lo difuso se incorpora en un proceso, se añaden diferentes opciones o como lo menciona Bart Kosko (1993, p. 19; 1999, p. 21) aporta distintos matices de gris entre las opciones extremas que son el blanco y el negro.

transformaciones tecnológicas y ahora se direccionan hacia sistemas digitales y virtuales, desarrollándose en simbiosis<sup>12</sup> con la innovación y las NBIC, en una búsqueda hacia una inteligencia que permita su evolución permanente y se desarrolle en plataformas digitales y próximamente, cuánticas en las que se realizan las transacciones financieras, así como también una transformación de la cotidianidad, la interacción humana y los espacios físicos en las ciudades (Lévy, 1995; Lévy, 1997; Hernández, Niño, & Hernández-García, 2013; Granados, 2018). Es como si se hiciera una sinapsis<sup>13</sup> entre la inteligencia natural y artificial que lleva a otro estadio al ecosistema financiero. No es simplemente la interacción a través de sistemas computacionales sino la interacción con los sistemas computacionales.

Los agentes financieros han interactuado en diferentes momentos a partir de la movilidad de mercancías, de capital, de información y de conocimiento. Estos agentes, habitualmente, han compartido espacios físicos, en actividades que se han vinculado con los territorios y han influido en la evolución de las sociedades como por ejemplo las operaciones de comercio mundial durante los diferentes periodos imperiales entre los siglos XVI al XIX o en la expansión de sus oficinas de atención alrededor del mundo de acuerdo con las tendencias económicas y financieras del siglo XX, sin importar el régimen político o las características sociales que rigieran estos territorios, pues desde un Berlín durante la Guerra Fría o un Singapur durante la dirección de Lee Kuan Yew, los agentes financieros continuaron sus operaciones e interacciones, en las que la oficina bancaria,

---

<sup>12</sup> La simbiosis hace referencia a la interacción biológica, estrecha y persistente, entre organismos disimiles o de diferentes especies y que tiene efectos benéficos para al menos uno de ellos y, en ocasiones, para los dos organismos. Para una ampliación del concepto, véase: Douglas (2010).

<sup>13</sup> La sinapsis es una estructura que permite que una neurona transmita una señal eléctrica o química a otra neurona, es decir, es una aproximación intercelular especializada en la que se lleva a cabo la transmisión del impulso nervioso. Este impulso genera una descarga química que origina una corriente eléctrica en la membrana de la célula emisora y permite conectarse con la otra célula a través de compuestos químicos que se depositan en el espacio sináptico (espacio entre la neurona transmisora y la neurona receptora), véase: Missler, Südhof, & Biederer (2012). En este caso, se busca establecer una integración de la inteligencia natural con la artificial de la misma forma como lo hacen dos neuronas y lo que emerge en un espacio sináptico.

como espacio físico y arquitectónico, fue fundamental para establecer la conexión de la sociedad y sus agentes humanos con los agentes financieros, donde las representaciones físicas (sello, libreta, reportes) eran necesarias para la credibilidad de las operaciones.

Durante las últimas tres décadas del siglo XX, los agentes financieros iniciaron una homogenización en la prestación de los servicios financieros, trayendo consigo tecnologías que tenían un primer acercamiento a las relaciones hombre-máquina como los servicios telefónicos y los cajeros automáticos. Por otro lado, los agentes financieros también empezaron a reemplazar la interacción humana en los pisos de negociación de activos financieros y trasladaron varios procesos a la automatización, lo que permitió una ampliación de los horarios de negociación, reduciendo las mesas de transacciones y desapareciendo parte de las tradicionales imágenes de hombres aglomerándose en los pisos financieros. En la tercera década del siglo XXI, las tecnologías ya coexisten y los diversos activos financieros se negocian desde una extensión de los sistemas de información, una terminal o un dispositivo móvil a miles de kilómetros del mercado correspondiente, sin ni siquiera ver el activo, conocer el intermediario o saber si es humano, no-humano o posiblemente, híbrido<sup>14</sup>. En consecuencia, el ecosistema financiero es cada vez más complejo, con infinidad de interacciones alrededor del mundo y con una incorporación creciente de los sistemas computacionales y la inteligencia artificial a la inteligencia natural creando múltiples facetas a los agentes financieros quienes ahora no solamente son gestores de capital sino también de información y conocimiento a partir de plataformas que integran el software, el hardware, la robótica y los algoritmos.

A saber, los agentes financieros adicionalmente a su transformación ante cambios coyunturales o estructurales como el comercio mundial, las guerras mundiales, las crisis financieras, el terrorismo,

---

<sup>14</sup> Vida híbrida es al mismo tiempo biológica, mecánica y electrónica (Maldonado, 2004, p. 12).

los desastres naturales y los cambios políticos<sup>15</sup>; han pasado del intercambio físico de mercancías, en los que la interacción humana era fundamental, a los intercambios digitales donde los agentes pueden lograrlos sin la participación humana, sólo con la inteligencia artificial, el aprendizaje automático y el procesamiento de grupos cada vez más grandes de datos a través de los algoritmos (Gómez N. , 2013; Harari, 2016; Lahoz-Beltrá, 2004).

Las redes financieras avanzan hacia un espectro donde los bienes materiales y localizados físicamente no son la razón de su existencia sino espacios donde los bienes son inmateriales y sin territorio<sup>16</sup>; alejados del equilibrio constante, pero cercanos a una estabilidad dinámica, propia de una estructura disipativa<sup>17</sup>. Es desligarse de lo espacial y funcionar cerca de la acción y el tiempo sin importar en qué lugar se encuentre, donde todo sucede simultáneamente: es un tiempo real (Terranova, 2004), es un tiempo irreversible y bifurcante de las evoluciones por inestabilidad y amplificación de fluctuaciones hacia la estabilidad (Prigogine & Stengers, 1979)<sup>18</sup>.

La complejidad habitualmente surge de las interacciones de los agentes en un sistema, donde algunos de ellos se adaptan a los patrones del entorno o de los demás agentes, también donde se generan procesos de evolución, de emergencia de comportamientos y nuevas características de los agentes, quienes son parte de un todo (Miller, 2016). Esta tesis basada en la complejidad de los ecosistemas y las redes financieras vinculando la ciencia de sistemas complejos<sup>19</sup>, la ciencia de

---

<sup>15</sup> Las redes financieras funcionan como sistemas abiertos con interacciones externas y sensibles entrecruzamientos, debido a que, como lo hacen los ecosistemas, intercambian energía, materia e información con su entorno y se encuentran lejos del equilibrio y de los estados estacionarios (Jørgensen, 2012; Volkenstein, 2009; Maldonado, 2008). Los cambios políticos diferente a los regulatorios interactúan con las redes financieras, lo que es justificable a través de la historia política y diplomática, donde los banqueros se han adaptado y participado de esos procesos políticos tanto en tiempos de paz o guerra.

<sup>16</sup> Para una ampliación del concepto de bienes desterritorializados, véase: Lévy (1995).

<sup>17</sup> Esta conexión la plantea Luisi (2006). Una interpretación no biológica, véase: Maldonado (2011).

<sup>18</sup> El tiempo puede incorporarse desde la propuesta algorítmica y desde la matemática fractal. El tiempo fractal permite el registro simultáneo de la relación de múltiples ciclos de tiempo (Mandelbrot & Hudson, 2004).

<sup>19</sup> Esta ciencia evalúa los sistemas compuestos por partes que interactúan pero que como conjunto presentan características que no son iguales a la suma de sus partes. Esto es, el comportamiento de un sistema complejo no se puede entender simplemente sumando el comportamiento independiente de sus partes (Cowan, 1994).

redes y las ciencias computacionales en el estudio de un fenómeno social, propone como tema de ruptura una perspectiva de cómo los sistemas financieros pasaron de sistemas mercantiles lineales cerrados a sistemas abiertos no lineales digitales y exobiológicos a través del acoplamiento de diferentes dimensiones y la integración de las transformaciones tecnológicas. En otras palabras, las interacciones entre agentes financieros evolucionan ante las transformaciones tecnológicas del siglo XXI, así como a los avances de la inteligencia artificial y la sinapsis con la inteligencia natural debido a que esas interacciones entre los diversos tipos de agentes se han incrementado a partir de una mayor cantidad de datos, que facilitan la conexión entre ellos, pues cualquier interacción entre agentes siempre genera vínculos (Barabási, 2014; Barabási & Albert, 1999).

Adicional a los agentes financieros tradicionales conformados por interacciones humanas, se están incorporando agentes no humanos que se acercan no solamente a facilitar las interacciones digitales sino a generarlas, a producir su propia agencia y a tratar de unificar el lenguaje humano con el lenguaje computacional para que las interacciones sean cada vez más simples. En consecuencia, se está entrando en una era en la que el crecimiento de los datos y la información incrementan la complejidad de las sociedades y donde las máquinas que hacen tareas cognitivas ganan relevancia sobre las máquinas que realizan actividades mecánicas (Brynjolfsson & McAfee, 2014; Taleb, 2013).

## **1.1 Antes de abordar**

Los académicos se han aproximado desde diferentes vertientes a explicar el ecosistema financiero o parte de él. Por eso, la literatura se divide en seis grupos que inician con lo disciplinar hasta llegar a una literatura transdisciplinar. En un primer grupo, la literatura ha hecho diferentes aproximaciones de los agentes financieros y sus interacciones. Desde Smith (1776), Marx (1867), Luxemburg (1913), Von Mises (1912) y Keynes (1936) se ha incorporado a los agentes financieros

como partícipes de la evolución de los sistemas económicos y sociales. Algunos, resaltando su importancia para el aumento de la producción y el mejoramiento de los salarios, mientras otros, resaltan su posición dominante. Krugman (2012) determina que los bancos han aprendido a ser más eficientes con menos trabajadores lo que los hace más propensos a especular; Stiglitz (2009) argumenta que mientras se ha establecido al sistema bancario como el centro de la economía, los banqueros se han creído muy grandes para caer y han realizado operaciones altamente apalancadas y especulativas. Harvey (2014) establece al capital como un flujo continuo de valor que atraviesa diversos momentos y transiciones de una forma material a otra, en la que existe una presión por acelerar su rotación, así como el poder autónomo de los banqueros para lograrlo. Piketty (2013) propone regular el capital en el siglo XXI para subsanar la desigualdad, a través de un impuesto global y la transmisión automática de la información que administran los bancos, acercándose a las propuestas que destacan la innovación inclusiva como forma para solucionar problemas de desarrollo (Heeks, Foster, & Nugroho, 2014; Foster & Heeks, 2016)

Otros autores como Deleuze y Guattari (1972; 1980) perciben el funcionamiento del capital mercantil y financiero como una decodificación generalizada de los flujos de producción y una desterritorialización de la riqueza, donde no se necesita a los Estados. Mientras Chomsky (1985) percibe a los bancos como beneficiarios de la influencia estadounidense y Hardt y Negri (2000) ven al capital como algo inmanente, con redes de dominación sin un centro de poder y donde los agentes financieros producen subjetividades y determinan la geografía del mercado mundial. Aunque para otros autores el sistema financiero es una hidra mundial con tentáculos en diversos lugares (Morin, 2015).

Desde una interpretación histórica, en la que a través del análisis de fuentes documentales primarias se ha logrado identificar la evolución del ecosistema financiero global indistintamente a

partir de perspectivas generales. Para nombrar algunos, están los trabajos de Ferguson (2001; 2008) y su visión del ascenso del dinero en el mundo, así como su poder en la definición del ecosistema global. Cassis (2006) analizó el ascenso y la caída de los centros financieros. La visión de Kindleberger & Aliber (1978) se volcó hacia la historia de las crisis y las burbujas en el ecosistema financiero y finalmente la visión de Jones (1990; 1991) que se fundamentó en establecer el negocio bancario como una actividad multinacional a través de la compilación y edición de varios autores. Aunque estos son algunos trabajos generales, hay otro grupo de autores que ha desarrollado un amplio número de trabajos históricos particulares sobre grupos financieros con alcance global.

En un tercer grupo están los autores que, sin integrar todo el ecosistema financiero, han incorporado las perspectivas sobre la transformación tecnológica en la actividad productiva y el crecimiento económico. Desde Schumpeter (1942) con su concepto de la destrucción creativa, Solow (1956; 1957) con su propuesta del cambio tecnológico, Arrow (1962) y las fuentes del cambio técnico como factores fundamentales para el crecimiento económico a partir del aprender haciendo, Nelson y Winter (1977; 1982) con la incorporación al progreso tecnológico de la competencia dinámica y su diferenciación por industrias, Romer (1990) con los procesos tecnológicos como procesos endógenos de las economías hasta King y Levine (1993a; 1993b) quienes incorporan el emprendimiento y el desarrollo financiero como elementos para fortalecer el crecimiento económico y los procesos de innovación.

A partir de esto, la innovación se abre en dos vertientes: primero, las influenciadas por Schumpeter que se concentran en la organización, donde autores como Chandler (1992) establecen la innovación como una capacidad institucionalizada dentro de las organizaciones. Otros autores como Drucker, (1998), Hamel (2000) y Kanter (2006) establecen la innovación desde una

perspectiva social donde el compromiso y la individualidad son parte de la naturaleza de la innovación. Igualmente, otras propuestas resultan de argumentos que no surgen exclusivamente de las ciencias económicas, sino que integran otras vertientes científicas que permiten ver la innovación desde una perspectiva más amplia, sobreponiendo los conceptos económicos, sociológicos y culturales (Tzeng, 2009). En consecuencia, el concepto de innovación se consolida en las ciencias organizacionales como un elemento propio de la productividad y la competitividad de las organizaciones y posteriormente de los países.

La segunda vertiente son los enfoques macro donde la innovación surge a través de los clústeres (Porter, 1990), los sistemas complejos adaptativos (Anderson, 1999; Cilliers, 2000; McKelvey, 1999) y las similitudes con los sistemas biológicos que integran la selección, la variación y la supervivencia de las organizaciones ante los procesos de innovación (Aldrich & Martinez, 2001). De esta forma, la innovación desde los sistemas complejos se concentra en la emergencia de los procesos macro y no en la exclusividad de un solo agente. Es como los eventos micro, ya sean partículas, moléculas, genes, neuronas, agentes humanos o agentes financieros, se autoorganizan en estructuras agregadas y emergentes (McKelvey, 1999).

En otras palabras, la innovación se establece como un proceso dinámico que se incorpora en el sistema financiero como la introducción de tecnología y no como la construcción de tecnología, porque, aunque hay cambios en las interacciones financieras por la adopción de nuevas tecnologías, habitualmente no están construidas en el sistema financiero sino incorporadas a él. No obstante, el ecosistema financiero se mueve entre cada uno de estos procesos haciendo transiciones y adoptando las tecnologías que posteriormente coevolucionarán y también coexistirán, pasando de un régimen tecnológico a otro (Geels, 2004; 2005) y acercándose a los espacios digitales. Frente a esto, Sassen (1998) hace una aproximación de los sistemas financieros y el espacio electrónico,

el cual lo considera como un evento tecnológico, pero para ella este espacio es parte de dinámicas que influyen en la organización de la sociedad y los mercados financieros son una forma alternativa de poder. Entonces, la perspectiva multinivel (Geels, 2002; Geels & Schot, 2007) se convierte en un marco para entender las transformaciones tecnológicas que se dan en diferentes dimensiones, los cuales establecen que las redes financieras no son independientes de otros escenarios y mucho menos los que incorporan procesos de innovación que influyen en la interacción de los diferentes agentes.

En un cuarto grupo están las propuestas que han integrado elementos antropológicos, sociológicos, geográficos y económicos para analizar el sistema financiero global, algunos usando las aproximaciones de Parsons y Luhmann para identificarlo como un sistema social y los impactos y causalidades que tiene este sobre los diferentes aspectos sociales (Hessling & Pahl, 2006). Así como las aproximaciones en las que se enfatiza en la dimensión social de los mercados y la economía (Polanyi, 1957; Granovetter M. , 1985), pero a su vez con la integración de la geografía, pues los mercados financieros, así como algunas actividades específicas, se convierten en elementos centrales de la cultura y los procesos económicos y sociales de las regiones (Saxenian, 1994; Thrift, 2000). Igualmente, aquellas aproximaciones que han cambiado la interpretación de las estructuras sociales y han recreado nuevas formas de interacción a través de sociedades virtuales (Knorr Cetina & Bruegger, 2002) pero también de inequidad (Zook & Grote, 2017) como de otras formas de interactuar, compartir y transmitir información y conocimiento que pueden conducir al cambio de patrones de interpretación y lenguaje al incorporarse nuevas herramientas para desarrollar las actividades de intermediación (Zaloom, 2003; Laughlin, Aguirre, & Grundfest, 2014; Zook & Grote, 2017).

En un quinto grupo están las propuestas de las ciencias naturales en espacios tradicionalmente de las ciencias sociales. Nicolis y Prigogine (1989), Bar-Yam (1997), Bonabeau et al (1999), Barabási y Albert (1999), Watts (2003), Johnson (2007), Barabási (2014) y un grupo adicional de físicos y biólogos se integraron para explicar, desde sus ciencias, la cotidianidad de los agentes humanos y dentro de esta cotidianidad, está el sistema financiero. Pagels (1989) establece que el sistema financiero global crea una red donde no hay un solo agente o un grupo de ellos que la dominen. Gell-Mann (1995) establece como las máquinas que aprenden, pueden recrear procesos de simulación usando metodologías de redes neuronales y algoritmos genéticos que permiten entender los sistemas complejos adaptativos y la evolución biológica, elementos vitales para interpretar la transformación de la banca y las finanzas. En palabras de Gell-Mann (1995, p. 339): “es guiar a los economistas hacia una aproximación más evolucionista” y alejarse del equilibrio neoclásico, los mercados perfectos, la información perfecta y los agentes racionales. Taleb (2007; 2013) resalta las limitantes de la planificación y la predicción propia de las sociedades modernas, así como la sobreestimación de lo conocido y la infravaloración de la incertidumbre, elementos que fragilizan los sistemas sociales y económicos, proponiendo que es necesario acudir a los elementos del azar y lo desconocido como factores propios de las situaciones cotidianas de la sociedad y la economía, debido a que a través de estas herramientas se puede lograr una mayor claridad de los hechos que suceden y pueden suceder; es una forma de alumbrar el fondo del abismo. Surgen, entonces, emergencias, autoorganizaciones, inestabilidades y fluctuaciones que expresan posibilidades, para que las redes financieras funcionen como estructuras vivas que evolucionan con una proliferación de patrones y un flujo de energía ininterrumpido durante su ciclo vital (Luisi, 2006; Prigogine, 1997).

Finalmente, en un sexto grupo están las aproximaciones a los sistemas financieros desde la biología y la física, partiendo de la premisa de que estos son sistemas complejos (Caldarelli, Battiston, Garlaschelli, & Catanzaro, 2004). Estas disciplinas han abierto un espacio para entender las redes financieras a partir de las múltiples interacciones que se presentan entre agentes financieros. May et al (2008) establecen la importancia que tiene para la banca entender el cambio de un sistema dinámico complejo de un estado a otro, dada las características que tienen las redes bancarias de no aleatoriedad y asortatividad negativa<sup>20</sup> que se asemejan a los sistemas ecológicos; a su vez, May (2013) con la estructura de las redes ecológicas y su aplicabilidad a los sistemas financieros y Schweitzer, et al. (2009) con la necesidad de identificar la complejidad sistémica de las redes económicas, especialmente las financieras, hacen una aproximación diferente para el diseño de políticas públicas que rompen con los paradigmas de la teoría económica. Por otro lado, Garlaschelli et al (2005) proponen la descripción de una red de un mercado amplio de inversiones, estableciendo tanto a las acciones como a los accionistas como agentes y conectados a través de vínculos que corresponden a las participaciones; igualmente el trabajo de Delpini et al (2013) que utiliza la física estadística de las redes complejas para determinar la capacidad de control de la red y detectar las instituciones financieras más relevantes para el funcionamiento de un mercado interbancario. Mientras, el trabajo de Roukny et al (2017) establecen la interconectividad de las redes financieras como fuente de incertidumbre en el riesgo sistémico.

Adicionalmente, en el riesgo sistémico está el trabajo de Haldane & May (2011), quienes proponen a partir de modelos ecológicos de redes de alimentación o de propagación de enfermedades infecciosas, la reducción del riesgo sistémico del sistema financiero y las implicaciones que tendría para la política pública. A este trabajo se suma el de Battiston & Caldarelli (2013) quienes plantean

---

<sup>20</sup> La asortatividad negativa hace referencia a que los agentes con alto grado de una red no necesariamente se conectan a otros de alto grado, sino que se pueden conectar a cualquier agente.

una estructura optima del sistema financiero para que los reguladores revisen la interacción de la topología de las redes, los requerimientos de capital y la liquidez del mercado. Por otro lado, Gai & Kapadia (2010) desarrollan un modelo de contagio en las redes financieras con estructuras arbitrarias y Arinaminpath et al (2012) toman un sistema de doscientos bancos interconectados a través del mercado interbancario y la inversión compartida en un activo financiero para definir una perspectiva sistémica que facilite la estabilidad financiera.

Otras perspectivas como la de Elliot et al (2014) utilizan las cascadas de fallas de una red de organizaciones financieras a partir de los cambios discontinuos del valor de los activos financieros y se acercan a los modelos económicos; Allen & Gale (2000) analizan el contagio financiero a través de fundamentos microeconómicos donde se destaca la homogeneidad de los consumidores por la preferencia de liquidez; mientras Gale & Kariv (2007) critican la teoría Walrasiana que argumenta que las mercancías se negocian en un intercambio centralizado, pero realmente los mercados financieros son intercambios descentralizados donde las estructuras de redes proveen una mejor aproximación. Finalmente, con una mayor aproximación a esta tesis están las propuestas de redes financieras multicapas que permiten identificar desde diferentes aproximaciones la estructura y dinámica de los sistemas financieros. Guleva et al (2015), usando modelos dinámicos, miden la duración de los enlaces con sus longitudes y, a partir de esto, construyen capas y la longitud de los enlaces que cambia en cada interacción. El trabajo de Poledna et al (2015) muestra que la limitación de centrarse en una sola capa puede subestimar el riesgo sistémico e incorporan cuatro capas diferentes para el mercado mexicano. El trabajo de Montanga & Kok (2016) establece la importancia sistémica de un banco a través de un modelo de red interbancaria multicapa basado en agentes en una muestra de grandes bancos de la Unión Europea superando la centralidad estándar de otros modelos. Otros autores han utilizado las redes multicapas en el sistema financiero

para objetivos diferentes al análisis del riesgo sistémico como Bargigli et al (2016) y Battiston et al (2016). La mayoría de la literatura, en especial de riesgo sistémico, se han enfocado en evaluar la crisis de 2008 y, en ocasiones, para un solo mercado, con excepción del trabajo de Montanga & Kok (2016) y Tonzer (2015) que usa las redes y un modelo espacial para determinar los vínculos entre los sistemas financieros de los mercados más avanzados, así como el trabajo de Aldasaro & Alves (2018) que se concentra en los mercados europeos con activos financieros de diferentes características e implicaciones de riesgo. La metodología de estos trabajos, que son una pequeña muestra de una metodología creciente para explicar los sistemas financieros, así como otros sistemas complejos, son una aproximación metodológica para esta tesis.

Aunque en los últimos años, la literatura se ha acercado con profundidad a estudiar las redes financieras desde diferentes perspectivas, no se ha acercado a una propuesta que incorpore las transformaciones tecnológicas cada vez más frecuentes; lo virtual, lo digital y la inteligencia artificial en la evolución de las interacciones globales de los agentes financieros, en la dinámica de la topología de las redes financieras y en la emergencia de un ecosistema financiero computacional que crea una ecología financiera mediada por la dinámica propia de los mercados financieros y las transformaciones tecnológicas, así como de la integración con la inteligencia natural.

## **1.2 Primer Llamado**

Entonces, ¿cómo la tecnología se configura en parte del proceso transformador de los agentes financieros en sus dinámicas de gestión, operación o desarrollo de negocios? ¿Cómo la tecnología ha transformado las redes financieras globales de sistemas mercantiles a sistemas computacionales? ¿Cómo se transforma la topología y la geometría de las redes financieras globales con la sinapsis de la inteligencia natural y artificial? ¿Cuáles son las nuevas perspectivas,

retos y dimensiones de una ecología financiera en un escenario digital, artificial y cuántico? <sup>21</sup>

¿Hacia dónde se configura la emergencia del ecosistema financiero global y computacional?

Para responder estas preguntas, es necesario integrar las ciencias sociales con heurísticas que permitan una explicación más amplia y diversa de la evolución de las redes y el ecosistema financiero global<sup>22</sup>. El aporte de esta tesis es evaluar las transformaciones que tienen y, a partir de la construcción de los escenarios, simular la emergencia del ecosistema financiero a partir de la profundización de la inteligencia artificial y su integración con la inteligencia natural. Es identificar la emergencia de un ecosistema artificial, computacional y digital como resultado de las transformaciones tecnológicas y en sí, de los avances propios de la sinapsis de la inteligencia artificial y natural que día a día se incorporan en mayor medida a la cotidianidad de los ecosistemas financieros, pues las diversas interacciones y dimensiones están creando opciones para que surjan nuevos agentes financieros y un nuevo ecosistema, mediante fusiones simbióticas que articulan las diferentes dimensiones en las que se integra el ecosistema financiero como un proceso de simbiogénesis, pues esta es parte de la innovación que se da en la evolución y por ende en los procesos que emergen del ecosistema<sup>23</sup>.

A partir de la simulación computacional se incorporan las transformaciones tecnológicas para descubrir a través de la exploración de varias soluciones posibles, cómo interactúan los agentes

---

<sup>21</sup> El concepto de ecología parte de la existencia de relaciones e interacciones entre diferentes agentes (organismos, personas, instituciones).

<sup>22</sup> La metaheurística, que se desprende de la heurística, es un método que busca relaciones a partir de la computación y que no tiene una única solución.

<sup>23</sup> La simbiogénesis, término acuñado por el biólogo y botánico Konstantín Merezhkovski en sus diferentes escritos desde 1905 y consolidado en su obra “Simbiogénesis y el origen de las especies” de 1926, establece que el surgimiento de nuevos órganos y organismos son resultado de fusiones simbióticas, véase traducción de su artículo de 1909 en: (Martin & Kowallik, 1999). Este argumento fue complementado con las nuevas aproximaciones a la teoría sintética de la evolución hecha por Lynn Margulis, quien establece que la simbiogénesis hace referencia al origen de nuevos tejidos, órganos, organismos e incluso especies mediante el establecimiento de simbiosis permanentes en largos periodos de tiempo que resultan de la vida en común y del contacto físico de organismos de diferentes especies (Margulis, 1998).

financieros, cómo se transforman las redes financieras, cómo emerge un ecosistema financiero computacional y como pueden surgir nuevos agentes financieros. Esta diversidad de procesos puede evaluarse en las actividades humanas y su interacción con los agentes financieros, las interacciones de los humanos al interior de un agente financiero, las interacciones entre los agentes financieros en un mercado específico a partir de las interacciones humanas y no humanas y las interacciones que se den entre humanos al usar los servicios de un agente financiero. La metaheurística tiene una mayor plausibilidad para explorar un problema complejo tan grande como puede ser el ecosistema financiero y las diferentes dimensiones en las que interactúa<sup>24</sup>. Por lo tanto, las variantes conceptuales que se pueden proponer desde la ciencia de los sistemas complejos permiten relacionar la inestabilidad del sistema financiero global y la dinámica de las interacciones, las cuales pueden amplificarse a otras dimensiones llevando a los agentes y a las mismas redes financieras a una evolución permanente; dicho de otra manera, a una ecología financiera dinámica<sup>25</sup>.

De esta forma, el objetivo principal de la tesis es explicar la emergencia del ecosistema financiero computacional -agentes y redes financieras- a partir de su integración con la transformación, la difusión y la transición tecnológica, la inteligencia natural y la evolución de la inteligencia artificial bajo una estructura multidimensional y multiescalar en la que se interactúa con las transformaciones globales de los sistemas político, económico y social. A partir de esto, los objetivos específicos son: i) identificar los ecosistemas que se desprenden de las interacciones de los agentes financieros y las transformaciones tecnológicas; ii) modelar las diferentes topologías

---

<sup>24</sup> La metaheurística se convierte en la forma más versátil para plantear la evolución de las redes y el ecosistema financiero global. Para una ampliación de las metaheurísticas, véase: Talbi (2009).

<sup>25</sup> Las dinámicas de la cuarta revolución industrial están trayendo consigo cambios que se desprenden de la ciencia de redes, la ciencia computacional y la física de los sistemas complejos que hace que varias de esas interacciones estén vinculadas con la inteligencia artificial, el aprendizaje automático, la analítica de datos masivos, la robótica, así como la vida artificial y la realidad virtual.

de las redes financieras y su complejidad ante los impactos de las transformaciones tecnológicas; iii) simular computacionalmente los comportamientos y patrones emergentes de las interacciones de los agentes financieros que permitan entender la dinámica futura del ecosistema financiero computacional. Con estos elementos, se argumenta que son los procesos termodinámicos de las redes, a partir de las transformaciones y transiciones tecnológicas que se disipan hacia la complejidad de sistemas multidimensionales y multiescalares, en los cuales se advierte la emergencia global del ecosistema financiero computacional.

Bajo una lógica polivalente consistente en simulaciones de posibles, esta tesis despliega los niveles de plausibilidad y simulación computacional del ecosistema financiero global mediante la creación de una librería de código abierto colaborativo que permita construir escenarios ante cambios generados por las transformaciones tecnológicas y la integración de las diversas dimensiones del ecosistema para así visualizar los procesos, los patrones, las transiciones y los cambios que resulten en los agentes, las redes y el ecosistema financiero global en diferentes temporalidades. Asimismo, contribuir en el entendimiento de los procesos de evolución del ecosistema, la dinámica topológica y geométrica de las redes financieras y las diferentes interacciones que se desprenden con las transformaciones tecnológicas, especialmente la evolución de la inteligencia artificial y la sinapsis con la inteligencia natural.

Esta librería es el resultado de un desarrollo que surge a partir de una estructura matemática que combinara, primero, las redes y los sistemas complejos para identificar la evolución y las transformaciones topológicas, a partir de la simulación y la visualización de las redes financieras reales en diferentes temporalidades; segundo, la integración con las lógicas no clásicas y los modelos no lineales que permitan proponer, a partir del uso de las ciencias de los sistemas complejos y la analítica de datos, una ecología financiera que explique la dinámica y evolución de

las redes y el ecosistema financiero en sistemas artificiales, inteligentes y posiblemente, cuánticos. Esta ecología incorpora una dinámica de interrelaciones entre agentes humanos y no humanos, organizaciones físicas y digitales, dispositivos y todo aquello que está emergiendo computacional y tecnológicamente, acercándose a la propuesta de una ecología cognitiva que establece nuevas formas de construir los procesos de conocimiento y de definir las transformaciones de la civilización<sup>26</sup>.

Esta tesis facilita la explicación del desarrollo de los negocios financieros y el proceso adaptativo de los agentes a partir de la plausibilidad de los escenarios propuestos. Sin embargo, se debe identificar primero, que los mercados, igual que los agentes, se van adaptando. Segundo, que existe un acoplamiento dinámico, pues los agentes en un sistema no siempre producen un efecto proporcional, el cual se integra a la capacidad evolutiva que tienen los mercados<sup>27</sup>. Tercero, el capital social de los agentes financieros va más allá de la suma de las interacciones, debido a que es la inversión de ese capital social el que amplía permanentemente las interacciones y crea la posibilidad de nuevas interacciones y agentes financieros<sup>28</sup>.

Por otro lado, los mercados adaptativos se acercan a los sistemas biológicos que transforman constantemente la interacción en las redes financieras hacia nuevos procesos que han fundamentado su existencia y transformación en los últimos ochocientos años, pasando de negociar bienes básicos que guardaban valor como el oro a activos financieros que son registros numéricos digitales. Esta red impactada por fuerzas como la competencia, las fusiones, las adquisiciones, las escisiones, las quiebras, las liquidaciones y las crisis sistémicas, y por una selección natural de los agentes, requiere de una comparación del grado de adaptabilidad de los

---

<sup>26</sup> Para una ampliación de este concepto, véase: Guattari (1992), Khanna (2016) y Lévy (1993; 1994)

<sup>27</sup> Para una ampliación de los mercados adaptativos, véase Lo (2017).

<sup>28</sup> Para entender el concepto de redes como capital social, véase: Kadushin (2012).

agentes, habitualmente heterogéneos y asimétricos<sup>29</sup>, así como de los mercados donde los agentes financieros han interactuado. En otras palabras, la red está definida sobre factores de ecologías tecnológicas<sup>30</sup> y mercados no lineales, como un número  $n$  de agentes y su capacidad para participar en la demanda y oferta de servicios y productos financieros que han evolucionado a partir de las dinámicas de los sistemas económicos, los procesos de innovación, las transformaciones tecnológicas y la adaptación de los agentes y los mercados.

Esto se puede definir también a la luz de que los agentes financieros en sí actúan como organismos biológicos, porque se pueden dividir o aglomerar creando un agente financiero más pequeño o grande respectivamente. Primero, porque los agentes financieros están conformados por agentes humanos que pueden dejar a este agente para crear uno nuevo (Bar-Yam, 1997). Es decir, los agentes financieros están conformados por humanos y este aspecto es esencial para entender el incremento de las interacciones no humanas, debido a que uno de los elementos que se tiene en cuenta la evolución de los agentes financieros son su número de empleados, adicional a sus ventas, sus utilidades y su generación de valor. Segundo, porque la complejidad social se direcciona no solamente a las interacciones propias de los sistemas humanos sino también de los sistemas naturales y artificiales (Cioffi-Revilla, 2014). Esto como resultado de la creación de artefactos y sistemas artificiales por parte de los humanos para poder interactuar con los sistemas naturales, es decir, que cualquier transformación de los agentes financieros y la incorporación de las transformaciones tecnológicas son resultado de las acciones de los agentes que tienen capacidad de agencia. Es buscar que esas invenciones sirvan como amortiguadores adaptativos entre los

---

<sup>29</sup> Algunas propuestas de modelación como las de Miller y Page (2007) establecen las bondades de los modelos computacionales para acomodar las asimetrías, así como la incorporación de agentes heterogéneos que permiten acercarse a la realidad de los agentes financieros y las redes en las que operan.

<sup>30</sup> Las ecologías tecnológicas como ecologías artificiales parten de un sistema de elementos no naturales creados por el hombre que han transformado los sistemas naturales y la evolución humana, lo que lleva a los ecosistemas hacia sistemas híbridos o artificiales.

humanos y la naturaleza (Simon, 1996) pero a su vez, entender que lo humano y lo no humano están vinculados confusamente en prácticas tentaculares que hacen que los futuros a construir requieran obligatoriamente entender esas interacciones (Haraway, 2016).

Adicionalmente, estos agentes que conforman comunidades, núcleos y periferias se les puede identificar su dinámica, a partir de la revisión de datos masivos y determinar también una epistemología no científica, porque los datos se fusionan, se articulan y emergen con nuevas propiedades de información y conocimiento. En otras palabras, las redes financieras se integran en un ecosistema que se explica desde la perspectiva de la dinámica, la autoorganización, la evolución, la construcción conjunta y no tanto en las relaciones causales; encaminándose hacia el crecimiento de las sociedades artificiales y la emergencia de nuevas redes financieras<sup>31</sup>. Asimismo, emergencias tales como la proliferación de información y el crecimiento de la economía del conocimiento, contribuyen en la configuración de nuevos agentes y la evolución de las redes y el ecosistema financiero global.

La adaptación de los agentes y los mercados se convierte, entonces, en una forma de explicar la emergencia del ecosistema financiero computacional a partir del diseño, simulación y visualización de las interacciones, así como de la evolución de las redes financieras y su funcionamiento en los sistemas artificiales y digitales<sup>32</sup>. Esta tesis acude a diferentes Ciencias Sociales, así como a la Ciencia de los Sistemas Complejos, la Ciencia de Redes, las Matemáticas, especialmente a la Topología y la Geometría, y las Ciencias Computacionales, debido a que las soluciones transdisciplinarias facilitan una explicación más consistente de la realidad del ecosistema financiero global y acerca la modelación y la simulación de los nuevos escenarios que

---

<sup>31</sup> Una ampliación del crecimiento de las sociedades artificiales y la diversidad de coevolución desde una perspectiva de las ciencias sociales, véase: Arthur (2015) y Epstein & Axtell (1996).

<sup>32</sup> La inteligencia de enjambre es una de las técnicas de los sistemas biológicos naturales que han sido implementadas en la investigación de los sistemas artificiales, véase: Bonabeau, Dorigo, & Theraulaz (1999).

resulten de los procesos permanentes de innovación, la simbiosis de los ecosistemas, la sinapsis de las inteligencias y las interacciones en microtiempos<sup>33</sup>. Por esa razón, la tesis se sustenta sobre la integración de diferentes metodologías, técnicas y herramientas de estas ciencias, que permitan la comprensión de los cambios en la estructura de las redes ante la emergencia global y la evolución del ecosistema financiero computacional, pues no se pueden inferir los efectos de las tecnologías (Sassen, 2006).

Para el desarrollo de la hipótesis y el logro de los objetivos se utilizan datos reales y abiertos de entidades gubernamentales, entidades de supervisión financiera, bancos centrales, del Banco Internacional de Pagos (BIS), del Banco Mundial, de la Federación Mundial de Bolsas de Valores, de la Comisión de Valores de Estados Unidos (SEC), de la Autoridad regulatoria de la Industria Financiera (FINRA) y datos de los mercados financieros<sup>34</sup>, los cuales, en primera instancia, permiten la construcción de la evolución de las redes reales y posteriormente, ayudarán a construir los datos sintéticos para hacer algunos de los procesos de modelación y simulación. El conjunto de datos incluye las interacciones de la mayoría de los bancos internacionales en diversos escenarios: los exclusivos entre agentes financieros y aquellos en los que se incorporan las interacciones con otros agentes no financieros<sup>35</sup>.

Esta tesis, al ser resultado de la interacción de múltiples saberes, hacen que el lector deba estar pendiente de cómo los aspectos de la emergencia del ecosistema financiero global computacional se intercalan entre elementos matemáticos, físicos, históricos, filosóficos, sociológicos, literarios,

---

<sup>33</sup> Los microtiempos son todas aquellas unidades de tiempo menores a un segundo, es decir, milisegundos ( $10^{-3}$ ), microsegundos ( $10^{-6}$ ), nanosegundos ( $10^{-9}$ ), picosegundos ( $10^{-12}$ ), femtosegundo ( $10^{-15}$ ), attosegundo ( $10^{-18}$ ), zeptosegundo ( $10^{-21}$ ) y yoctosegundo ( $10^{-24}$ ).

<sup>34</sup> Hace referencia a la información pública que por regulación debe ser publicada diariamente por parte de los mercados a partir de los reportes de los agentes financieros.

<sup>35</sup> Los datos están divididos entre datos estructurados, los cuales están definidos y sus características los hacen fáciles de identificar, mientras que los datos no estructurados son datos sin patrones definidos y altamente heterogéneos (audio, video, fotografías y publicaciones en redes sociales). Para una ampliación, véase: Cady (2017).

cinematográficos y de la ciencia ficción. Estos elementos hacen que varios apartes del documento lleven al lector a buscar respuestas a sus interrogantes, que surgen por la interacción de diversos saberes, dentro y fuera de ella. Muchos de ellos serán interpretados, otros quedarán en clave, otros claramente explicados, mientras otros pasarán a la especulación. Es decir, el documento es un sistema abierto que permite desde afuera entender varios aspectos de la narrativa, así como desde adentro. Es una investigación que busca que el lector interactúe con sistemas externos a ella, logrando que emerja no solamente un ecosistema financiero global computacional que es su objeto, sino que emerjan varias interpretaciones que harán que existan diversos mundos posibles.

### 1.3 Símbolos e itinerario

Es necesario conocer algunos símbolos y el itinerario para poder interpretar e interactuar en este viaje. A continuación, se identifican los principales símbolos que se usan, aunque habrá algunos que tendrán que conocerse durante la marcha, pues su uso será particular y no general como son los que se definen a continuación.

$G$  hace referencia a una gráfica (red);  $V$  al grupo de nodos (agentes) de una red;  $E$  es el grupo de vínculos de una red;  $e_{i,j}$  el vínculo entre los nodos  $i$  y  $j$ ;  $N$  hace referencia al número de nodos en una red;  $M$  hace referencia al número de vínculos en una red;  $G_i$  hace referencia a la red egocéntrica en el nodo  $i$ ;  $L$  hace referencia a una red multicapas;  $L_{[0]}$  es una red multicapa agregada;  $E_i$  es el grupo de vínculos en  $G_i$ ;  $V_i$  es el vecindario del nodo  $i$ ;  $G_t$  es una red temporal;  $G_{[0,t]}$  hace referencia a una red temporal agregada;  $E_t$  es un conjunto de eventos temporales y  $T$  hacer referencia al tiempo total. Por otro lado,  $k_i$  hace referencia al grado del nodo  $i$ ;  $k_{in}$  hace referencia al grado de entrada de un nodo,  $k_{out}$  al grado de salida de un nodo y  $\langle k \rangle$  o  $\bar{k}$  al grado promedio;  $P_k$  hace referencia a la distribución de grado;  $w$  es el peso de un vínculo, es decir, los vínculos entre los agentes son más densos,  $w_{ij}$ ;  $s$  es la fuerza de un nodo;  $C_i$  es el coeficiente de

agrupamiento (clustering) del nodo  $i$ ;  $C$  es el promedio del coeficiente de agrupamiento;  $C_m$  hace referencia a la comunidad en una red y  $f_i$  es el nivel de aptitud de cada agente. Otros símbolos estarán entre la topología y la geometría, como el círculo hiperbólico identificado como  $H$  y el círculo Euclidiano  $EU$ .

A continuación de este primer capítulo introductorio, la tesis está dividida de la siguiente forma: un segundo capítulo presenta la evolución de Eukaryote, a partir de la referenciación de los elementos preliminares de la estructura, funcionamiento y dinámica de las redes, los cuales identifican los patrones que caracterizan las situaciones reales. Adicionalmente, evalúa la evolución del ecosistema financiero global como un sistema social complejo de diversas capas ante transformaciones políticas, económicas, sociales y tecnológicas, planteando una primera aproximación de los patrones de su evolución. En el tercer capítulo se desarrollan algunos conceptos que enmarcan las transformaciones tecnológicas y el impacto en la temporalidad de las interacciones en Eukaryote, pues claramente con estas transformaciones se han reducido los tiempos de interacción, lo que hace que se empiece a viajar en unidades de tiempo cada vez más cortas. Igualmente, se analiza la evolución de los agentes financieros con los procesos de adopción y adaptación a la transición tecnológica, para finalmente identificar la difusión tecnológica y las variaciones en la estructura financiera global. En el cuarto capítulo, adicionalmente a la definición de la inteligencia artificial como transformación tecnológica, se establece la simbiosis entre el ecosistema de la inteligencia artificial y el ecosistema financiero global, haciendo énfasis, primero, en la sinapsis de la inteligencia natural y artificial al interior de los agentes financieros, segundo, en los cambios de la temporalidad y las características geométricas de las redes financieras y, tercero, haciendo una aproximación a la simbiogénesis. En el quinto capítulo, se plantea la modelación de escenarios futuros del ecosistema financiero global antes las transformaciones

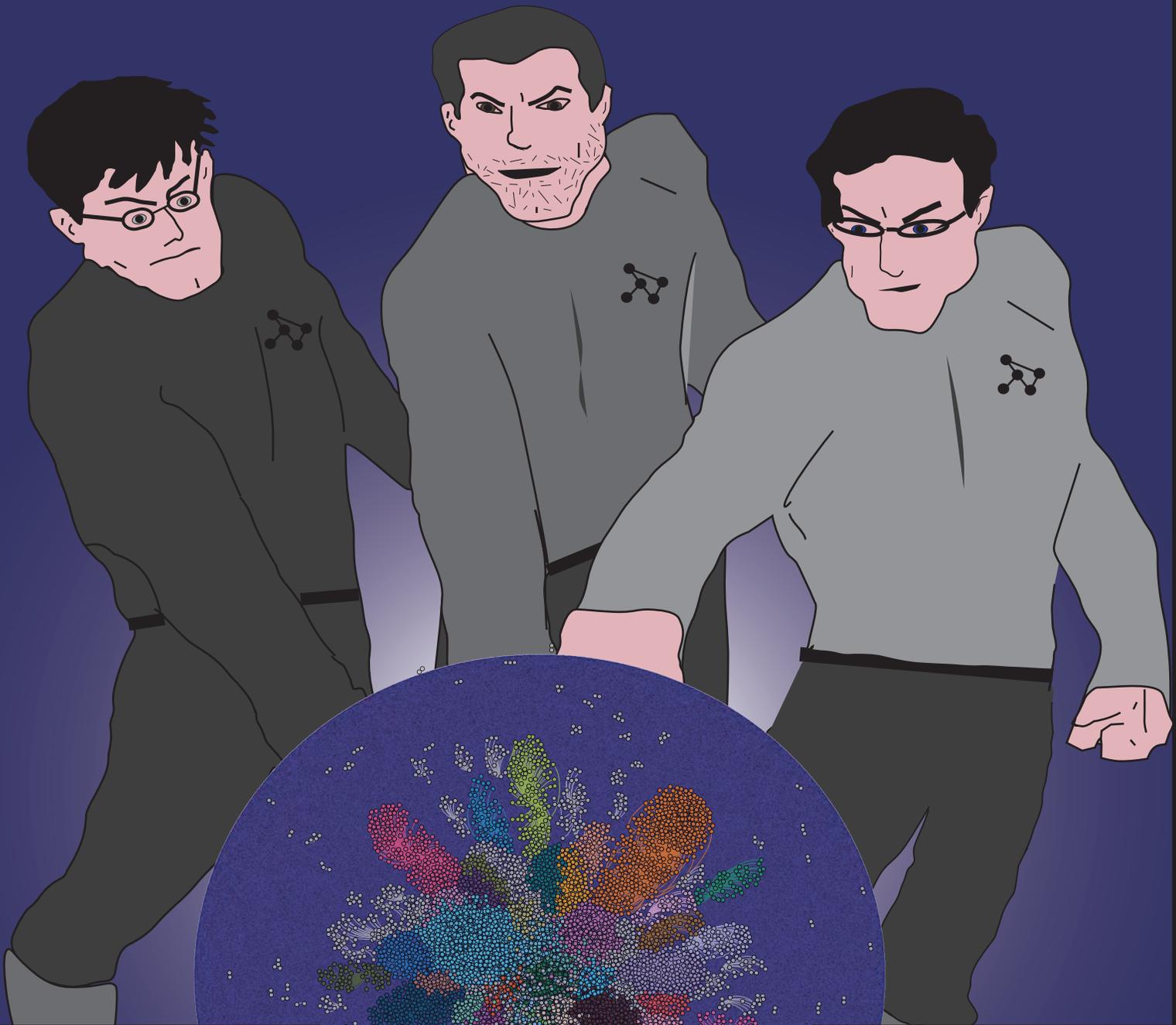
tecnológicas, principalmente con la evolución de la inteligencia artificial y su integración con la inteligencia natural, a través de cuatro aproximaciones metodológicas, que integran temporalidades cada vez más cortas. Primero, en la modelación basada en agentes, segundo en los algoritmos genéticos y la programación evolutiva, tercero en la dinámica que se genera a partir de la aptitud (fitness) de los agentes y para finalizar, el planteamiento del espacio hiperbólico como metodología para mejorar el entendimiento del ecosistema financiero computacional.

El sexto capítulo muestra los resultados de las simulaciones a partir de los escenarios múltiples y cambiantes propuestos, donde se podrán evaluar las diversas topologías, la dinámica y emergencia de la ecología financiera ante la evolución de la inteligencia artificial, así como su sinapsis con la inteligencia natural. Este capítulo se divide en cuatro secciones: una primera explica los diferentes conjuntos de datos reales, así como el conjunto de datos sintéticos, una siguiente sección que presenta el código de programación para desarrollar las simulaciones computacionales, una tercera que presenta los ajustes y calibraciones del modelo y una cuarta que presenta los resultados de las simulaciones antes y después de las calibraciones tratando de interpretar el tiempo más allá de una ilusión persistente. Un último capítulo, abre el espacio para definir futuros posibles y superar el límite de nuestros sentidos con una verificación de la propuesta, el planteamiento de algunas perspectivas y conclusiones que nos acercan, a un nuevo estado X, en permanente transformación y, posiblemente, a una conciencia digital.

Finalmente, un material suplementario que ayuda al lector a identificar la red de personajes y otros signos y símbolos que complementan los más comunes presentados arriba. Es necesario recordar que la tesis interactúa como un sistema abierto, pues el cuerpo del documento referenciado anteriormente se integra de manera matemática e histórica en algunos apartes con los pies de páginas que corren con el pasar de la lectura, los cuales crean un documento narrativo y técnico a

su vez, que no es excluyente y más allá de ser complementario, se convierte en un hipertexto que facilita, de una manera diferente, la interpretación de los sistemas sociales. A estas dos estructuras se le integra una narración literaria que articula eventos históricos y ficticios que se resumen capítulo a capítulo en una serie de animaciones que representan una narración visual de este, es decir, entre la historia, las matemáticas, la biología, la física, la narrativa y la visualización, se construye una nueva forma de explicación que nos acerca a una nueva semiótica para entender la emergencia de un ecosistema computacional, alternando indistintamente en diferentes dimensiones temporales y espaciales. Adicionalmente, varios apartes del documento están en clave y exploran la curiosidad del lector y si este quiere profundizar un hecho o una narración especial para seguir su lectura, deberá salir de la tesis. Es ampliar a un mayor número de dimensiones el texto que está plasmado en las siguientes páginas.

Entonces, es hora de salir... ¡es hora de iniciar el viaje!



2

Eukaryote

## 2 Eukaryote

Eukaryote ha sido el espacio donde una diversidad de agentes a través de la historia ha interactuado a partir de sus intereses, sus propósitos, pero también del contexto al que se han enfrentado. Los agentes financieros se han establecido en diversos lugares del mundo, pero también se han transformado, se han dividido, se han fusionado y han desaparecido. Las razones de estos cambios son diversas: algunas propias de los agentes y otras de los entornos político, económico y tecnológico donde emergen un sinnúmero de interacciones, generando un cambio en la estructura y dinámica del ecosistema financiero global. Este capítulo busca identificar los elementos que conforman al ecosistema financiero global, cómo se han generado sus transformaciones y cómo estas han evolucionado para identificar la emergencia del ecosistema. Pero, para disfrutar un nuevo artefacto tecnológico es necesario leer el manual de instrucciones. Aunque la expresión que acabo de ver en cada uno de ustedes en el espejo de la imaginación era de suponerse, y algunos quisieran saltarse a la mejor parte de la película, lamentablemente, aquí esa función no existe. Entonces, al igual que en un cinema se debe esperar para llegar a las partes más emocionantes del guion, que habitualmente son los que se presentan en los cortometrajes de promoción.

Para identificar cada uno de los elementos y transformaciones, se desarrolla una primera sección para entender las características de los agentes y sus interacciones, seguido de cómo se dan las conexiones en una red. Posteriormente, en una tercera sección de transición se destaca la dinámica del ecosistema financiero global a partir de las redes dinámicas; para finalmente hacer una revisión histórica de cómo se han incorporado nuevos agentes y elementos que han diversificado el ecosistema financiero desde finales del siglo XIX hasta las primeras décadas del siglo XXI y algunos ejemplos de cómo se han creado y cómo han interactuado con las transformaciones

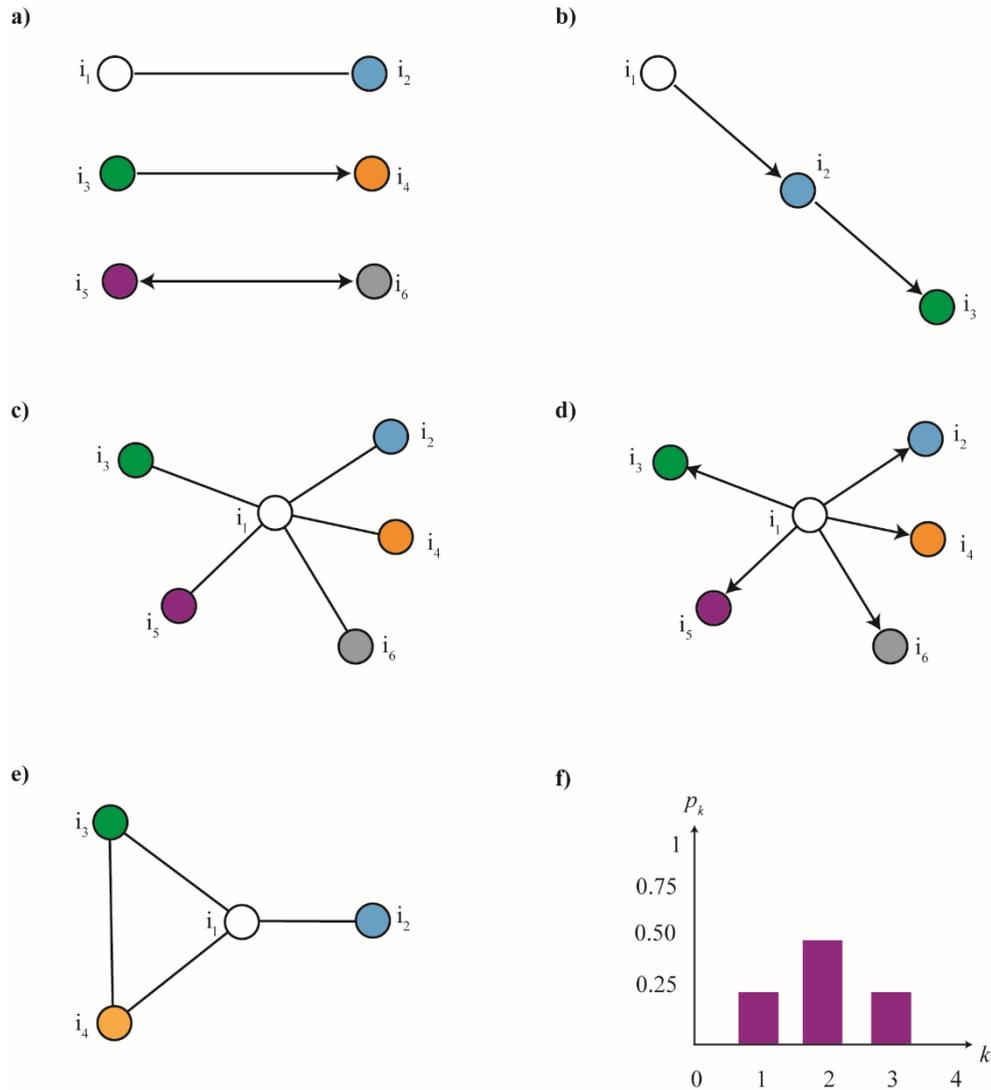
políticas, diplomáticas y económicas, así como identificar la estructura más reciente del ecosistema financiero global.

## 2.1 Un sistema de agentes

¿Cómo entender un sistema de agentes en Eukaryote? Para entenderlo como el ecosistema financiero global, es necesario destacar los elementos básicos de lo que conforma una red: nodos y vínculos, pues la ciencia de redes permite explicar diferentes fenómenos que se presentan en diversas disciplinas a través de la representación de su conectividad (Newman, Barabási, & Watts, 2006; Watts D., 2003). Una primera característica es que cada red está definida por un grupo de agentes –nodos o vértices en la teoría de grafos– y vínculos o interacciones –lados o bordes, también en la teoría de grafos– que está compuesto por elementos no idénticos, por agentes que son individuos, organizaciones e instituciones y los vínculos son las interacciones entre ellos (Barabási & Albert, 1999). Para nuestro caso se definirán como agentes e interacciones.

El número de agentes  $N$  representa el número de componentes de la red, es decir, su tamaño y se identifican como  $i = i_1, i_2 \dots, N$ . En este caso, las interacciones han estado definidas entre los agentes financieros pero también con agentes humanos y no financieros, como empresas o instituciones públicas, esto como resultado de que cada red es una estructura social donde la frecuencia de las interacciones es importante para caracterizar su topología y porque se caracterizan por los patrones de comunicación social de los humanos (Barrat, Barthélemy, Pastor-Satorras, & Vespignani, 2004; Dorogovtsev & Mendes, 2003; Granovetter M., 1973; Kobayashi & Takaguchi, 2018). Es decir, ¿se podría tener un solo agente? Aunque las interacciones de un solo agente en ocasiones surgen de las producciones cinematográficas de superhéroes o ermitaños a la deriva, el ecosistema financiero claramente requiere de un sistema de agentes, porque su razón

de ser está en interactuar con los demás agentes sin estar limitados a las capacidades o al lugar donde se realicen las interacciones, como lo ha sido Eukaryote en los últimos ochocientos años.



**Figura 2.1. Interacciones entre agentes.**

**a)** Interacciones simples. **b)** Interacciones con intermediación de agentes. **c)** Interacción con centralidad de un agente. **d)** Interacción direccional con centralidad de un agente. **e)** Red con  $N = 4$ . **f)** Distribución de grado.

Igualmente, el número de enlaces  $E$  representa el número total de interacciones entre los agentes, las cuales pueden ser interacciones unidireccionales, direccionales, bidireccionales (ver Figura

2.1a), y puede existir o no reciprocidad y formalidad entre las interacciones (Barabási, 2016). Es decir, las redes pueden tener una organización jerárquica o simplemente una red de comunicaciones casuales continuas o variables, que pueden o no crear vínculos permanentes o temporales (Barabási & Albert, 1999; Huberman & Hogg, 1995; König & Battiston, 2009). En otras palabras, estas interacciones entre agentes financieros pueden definirse fácilmente en una transacción de negocios entre dos bancos  $i_1, i_2$ , al enviar una transferencia para que se abone de una cuenta de un cliente del agente financiero  $i_3$  al  $i_4$ , en un mensaje entre  $i_4$  y  $i_5$  para identificar una operación entre dos de sus clientes o en utilizar al agente financiero  $i_2$  para hacer una transacción entre  $i_1, i_2$  (ver Figura 2.1b). El número de enlaces que tiene un agente con otros agentes es una propiedad fundamental (Figura 2.1c). El grado  $k_i$  representa la cantidad de interacciones que un agente financiero ha tenido con otros. Es decir, el grado de un agente –el número de conexiones asociadas– en una red no dirigida está definido por el número total de enlaces,  $E$ .<sup>36</sup> La importancia del agente  $i$  está determinado por  $x_i$ , es decir, depende del grado de cercanía de sus vecinos y la centralidad de los vectores propios del agente  $i$  es proporcional a la suma de la centralidad de los vectores propios de todos los agentes que se conectan a  $i$  (Figura 2.1d)<sup>37</sup>. ¿Cómo se define gráficamente la evolución de las interacciones entre los agentes financieros? La distribución de grado sirve para entender varias propiedades y fenómenos de las

---

<sup>36</sup> Esto se puede expresar como la suma de los grados de un agente:  $E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k_i$ . Donde el grado promedio está determinado en una red no dirigida por:  $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i = \frac{2E}{N}$ . En una red dirigida, la suma de sus grados de entrada y los de salida es  $k_i = k_{in,i} + k_{out,i}$ , donde los grados de entrada  $k_{in,i}$  el agente  $i$  está definido como el número de vínculos que apuntan a  $i$ ; sus grados de salida  $k_{out,i}$  están definidos como el número de vínculos que salen de  $i$ .

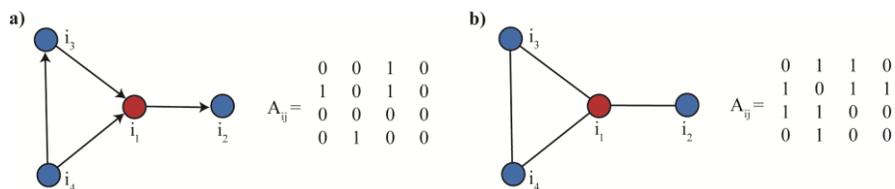
<sup>37</sup> A partir de esto, se puede establecer que:  $x_i = \frac{1}{\lambda} \sum_{j \in N_i} x_j = \frac{1}{\lambda} \sum_{j=1}^n A_{ij} x_j$ , donde  $N_i$  es el grupo de agentes conectados al agente  $i$ ,  $N$  es el número total de agentes,  $A_{ij}$  es la matriz de adyacencia y  $\lambda$  es una constante (König & Battiston, 2009). Adicionalmente, el grado de distribución,  $P_k$  proporciona la probabilidad de que un agente seleccionado al azar en la red tenga un grado  $k$ . Dado que  $P_k$  es una probabilidad, debe normalizarse, entonces:  $\sum_{k=1}^{\infty} p_k = 1$ . Para una red con  $N$  agentes, la distribución de grado está dado por:  $P_k = \frac{N_k}{N}$ .

redes, especialmente su robustez y la propagación de una crisis (Barabási, 2016) y gráficamente, está dada por un histograma normalizado (ver Figura 2.1f). Así mismo, se pueden identificar agentes altamente conectados a través de su grado, conocidos como concentradores (*hub*) y también establecer qué importancia tienen los demás agentes a partir de la distribución de grado. De esta forma, la construcción de una red  $G$  con  $N$  agentes y  $M$  vínculos consiste en un grupo de puntos de intersección  $V(G) = \{v_{i_1}, v_{i_2}, \dots, v_{i_n}\}$  y un grupo de intersecciones  $E(G) = \{e_{i_1}, e_{i_2}, \dots, e_{i_m}\}$ . Esta red se representa por una matriz de adyacencia,  $A_{ij}$  que indica los vínculos entre los agentes  $i$  y  $j$  (De Masi, 2009)<sup>38</sup>. En consecuencia, la distancia  $d_{ij}$  entre los agentes  $i, j$  es el número más pequeño de vínculos para ir de  $i$  a  $j$ . Por lo tanto, los vecinos del agente  $i$  son todos los agentes  $j$  que están conectados con este agente a través de un vínculo sencillo  $d_{ij} = 1$ . Se pueden tener múltiples trayectorias más cortas de la misma longitud  $d_{ij}$  entre un par de agentes, pero la trayectoria más corta nunca contiene bucles o se interseca a sí mismo. De igual forma, en una red no dirigida  $d_{ij} = d_{ji}$ , es decir, la distancia entre los agentes  $i$  y  $j$  es la misma distancia;

<sup>38</sup> Si el vínculo es efectivo,  $A_{ij} = 1$ , de lo contrario será  $A_{ij} = 0$ . A partir de esto, los agentes se vinculan y la forma de enumerar sus enlaces es a través de una matriz de adyacencia o proximidad dada por:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{i_1i_1} & A_{i_1i_2} \\ A_{i_2i_1} & A_{i_2i_2} \end{bmatrix}$$

La matriz de adyacencia de una red dirigida de  $N$  agentes tiene  $N$  filas y  $N$  columnas, siendo sus elementos:  $A_{ij} = 1$  si hay un enlace desde el agente  $j$  al agente  $i$  o  $A_{ij} = 0$  si los agentes  $i$  y  $j$  no están conectados entre sí (Figura a). Mientras en una red no dirigida, la matriz es simétrica, es decir,  $A_{ij} = A_{ji}$  (Figura b).

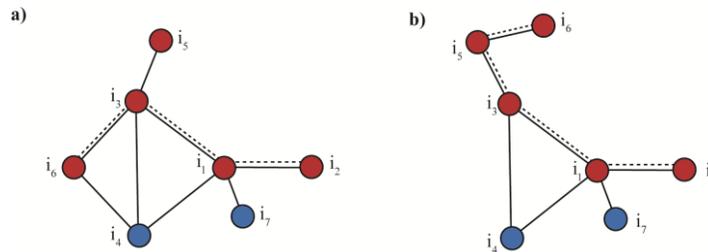


mientras en una red dirigida  $d_{ij} \neq d_{ji}$ , es decir, la existencia de una trayectoria desde el agente  $i$  al agente  $j$  no garantiza la existencia de una trayectoria desde  $j$  hasta  $i$ <sup>39</sup>.

En consecuencia, la preferencia de los agentes de una red por vincularse con otros agentes con alguna similitud permite que los agentes con alto grado estén conectados a agentes con un alto grado (asortatividad) o también puede presentarse el evento contrario (asortatividad negativa). Sin embargo, la utilidad clave de la mayoría de las redes es asegurar la conexión entre los agentes, es decir, lograr la conectividad (Barabási, 2016). En una red no dirigida, los agentes  $i$  y  $j$  están conectados si hay una trayectoria entre ellos y se desconectan si no existe, es decir:  $d_{ij} = \infty$ . Esto se puede analizar entre agentes de una red (Figura 2.2a) o un grupo de agentes que pueden estar conectados entre ellos, pero no con otro grupo de agentes (Figura 2.2b).

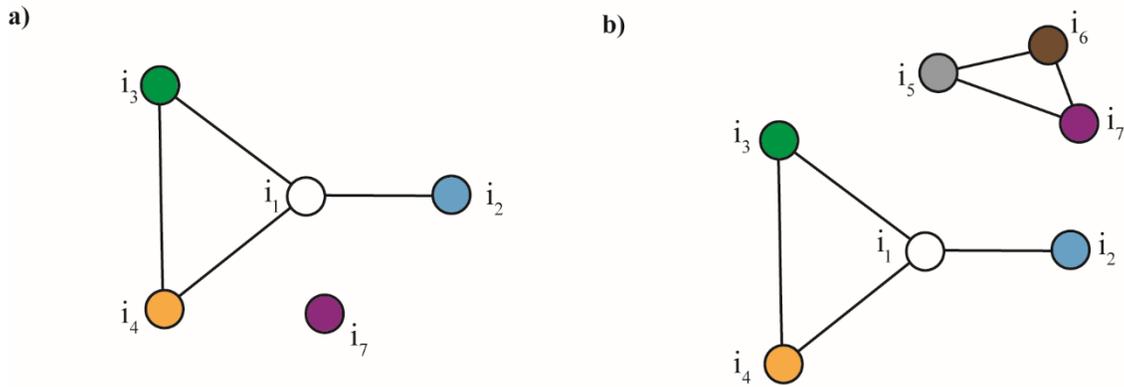
Adicionalmente, la densidad de conexiones de un agente permite definir si una red tiene un mayor o menor valor del coeficiente de agrupación local,  $C_i$ . Este coeficiente permite calcular las

<sup>39</sup> En el siguiente ejemplo se pueden identificar las trayectorias más cortas entre los agentes  $i_2$  y  $i_6$ , o la distancia  $d_{i_2 i_6}$ , corresponden a la ruta con el menor número de enlaces que conectan los agentes  $i_2$  a  $i_6$ . Puede haber múltiples rutas de la misma longitud. El diámetro de la red es la distancia más grande en la red, siendo  $d_{max} = 3$  en el caso de la Figura a y  $d_{max} = 4$  en la Figura b.



Usando una matriz de adyacencia, esto se puede escribir como:  $d_{ij} = \min \left\{ \sum_{k,l \in P_{ij}} a_{kl} \right\}$ , donde,  $P_{ij}$  es la trayectoria de conexión entre el agente  $i$  y el agente  $j$ . A partir de la distancia entre los agentes  $i, j$  se establece la longitud media de la trayectoria  $\zeta$ , que de ser menor, existe una mayor posibilidad de interacciones entre los agentes financieros (Barrat, Barthélemy, Pastor-Satorras, & Vespignani, 2004; De Masi, 2009; König & Battiston, 2009). La longitud media de la trayectoria ( $\zeta$ ) está dada por:  $\zeta = \frac{1}{2n(n-1)} \sum_{i \geq j} d_{ij}$ .

proporciones de los vecinos más cercanos de un agente vinculado a ellos, cuanto más densamente interconectada esté el vecindario del agente  $i$ , mayor será su coeficiente de agrupación local.



**Figura 2.2. Conectividad.**

a) Conectividad entre agentes. b) No conectividad entre grupos de agentes.

Por otro lado, la heterogeneidad en los valores de intensidad de los vínculos es una característica topológica donde cada vínculo  $i, j$  está asociado con un peso  $w_{ij}$  que representa la intensidad de este (Börner, Sanyal, & Vespignani, 2007). Es decir, algunas interacciones o vínculos entre los agentes pueden tener diferente peso, es decir,  $A_{ij} \neq 1$ ; en el caso del ecosistema financiero global, cada interacción  $i, j$  puede ser similar, pero tiene un peso único  $w_{ij}$ . A partir del coeficiente de agrupación local  $C_i$  se puede identificar elementos de la estructura de las redes, es así como en la siguiente sección, se definen los principales elementos de la estructura de una red y sus diferentes posibilidades de representación.

## 2.2 Conectando el ecosistema

El sistema financiero global es un sistema complejo representado por un ecosistema<sup>40</sup>, que surge como un sistema económico y social en el que interactúan agentes financieros que están conformados por agentes humanos y, a partir de las transformaciones tecnológicas, por agentes no humanos. El propósito de esta sección es identificar las características propias de la estructura del ecosistema financiero global y, a partir de esto, identificar los elementos que lo definen como un sistema dinámico y que interactúa a través del tiempo, es decir, que tiene una estructura con la posibilidad de coevolucionar a partir de las interacciones benéficas o no benéficas y un orden cuya fuente es el no equilibrio (Kelly, 1995; Prigogine & Stengers, 1979; Wallerstein, 1991; Yong, 2017). Para esto, es necesario establecer la estructura, ya que una red no es una colección aleatoria de agentes y vínculos (Lewis, 2009), sino que cada uno de estos elementos definen una estructura, que determina su topología y su geometría.

Entonces, ¿cómo se puede definir este ecosistema? Primero, desde la sociología, las sociedades son el resultado de las interacciones humanas, las cuales operan como un sistema biológico y tienen la habilidad de autoorganizarse (Durkheim, [1895] 1982; Spencer, 1898). Sumado a esto, Luhmann con la teoría general de la sociedad, basada en una teoría de sistemas, incluye la complejidad, la autoorganización, la observación y la diferencia, donde se entiende por complejidad la sobreabundancia de relaciones, de posibilidades, de conexiones, de un aumento de

---

<sup>40</sup> Los ecosistemas como el resultado de la interacción entre la estructura de la red y su dinámica, son los sobrevivientes de los procesos evolutivos de largo plazo, algo que podría aplicarse a los sistemas financieros, debido a que estos tienen como características comunes la complejidad e inestabilidad propia de los ecosistemas, así como las transformaciones que se dan en la red de interacciones de un ecosistema que son resultado de la autogénesis, donde dejan de existir antiguos componentes y se crean nuevos (Csányi, 2010; Haldane & May, 2011; May, 2013). Es decir, un ecosistema es el resultado de la suma de las respuestas individuales de los agentes financieros a estímulos recibidos de los elementos en el entorno financiero y no financiero que habitualmente son eventos aleatorios y se acercan a ser procesos estocásticos. Lo que establece que los agentes financieros se han ido adaptando continuamente a los cambios del entorno y por esta razón existe la posibilidad de adaptación, transformación o liquidación.

la diferenciación de una sociedad; alejándose de una propuesta lineal de relaciones y donde los agentes humanos no viven de forma individual sino siempre en permanente interacción. La definición básica de complejidad de Luhmann implica la noción estándar de un umbral cuantitativamente definido sobre el cual no es posible un único observador que relacione todos los elementos del sistema entre sí; la complejidad no es una operación, no es algo que un sistema ejecute ni que suceda en él, sino que es un concepto de observación y de descripción (Luhmann, 1997). La complejidad no es una propiedad sino un concepto multidimensional que supone siempre un exceso de relaciones; tiene una naturaleza esencialmente relacional e inestable, es una mezcla de redundancia y variedad que permite la negación (Izuzquiza, 1990; Luhmann, 1997). El sistema se define por su diferencia respecto a su entorno y puede crear su propia estructura y los elementos que la componen, es decir, son sistemas vivos (Varela, Maturana, & Uribe, 1974).

Sin embargo, el conector principal entre la sociología y la ciencia de redes, la cual surgió de la física, la biología y las matemáticas, fue el trabajo de Granovetter (1973) que establece la importancia de integrar las interacciones a nivel micro con los patrones a nivel macro, a partir de un puente que identifica que las interacciones a pequeña escala se traducen en patrones a gran escala y estos a su vez retroalimentan nuevamente a las microinteracciones. Desde la física y la biología, los sistemas financieros parten de una transformación continua a partir del aprendizaje, la evolución y el intercambio de información tanto del propio sistema como de su entorno, acercándose al concepto de sistema complejos adaptativos: “aquellos que aprenden o evolucionan del mismo modo que lo hacen los seres vivos” (Gell-Mann, 1995, p. 12). Igualmente, de las transiciones, la coexistencia, la coevolución y la convergencia de las tecnologías y los procesos de innovación (Geels, 2005; 2010; Bainbridge & Roco, 2006).

Para identificar los sistemas complejos es necesario definir los elementos que lo conforman, pero los componentes de un sistema no son independientes, sino que se determinan mutuamente (García R. , 2006). Esta característica se integra con los límites del sistema, pero estos límites no se convierten en un elemento que cierra el sistema, sino que todos los componentes que quedaron afuera de él se convierten en un entorno que permite la interacción, es decir, es un sistema abierto con límites, que facilita la definición de una estructura y a partir de esta se pueden precisar las interacciones más significativas entre los componentes. Entonces, siendo el sistema financiero global una subestructura de la civilización humana logra identificar también procesos de organización y evolución social como argumenta Bar-Yam (1997), que requieren de una ampliación de las posibilidades para ser evaluados.

De esta forma, el ecosistema financiero global interactúa y es influenciado por diferentes aspectos sin tener límites definidos o una estructura jerárquica. Es un sistema que cuenta con unidades y redes de producción de componentes, que recursivamente a través de sus interacciones, generan la red que las produce y se constituyen en el espacio en el que existen (Maturana, 1981). El ecosistema financiero global se asemeja a un sistema autoorganizado que cambia sus propias estructuras y su autorreferencia se aplica a la producción de otros componentes; en otras palabras, existe dentro de un entorno y no puede existir solo, es decir, no busca consensos ni equilibrios, está en permanente cambio e interacción que alimenta su evolución y de no ser así, ya no existiría (Luhmann, 1986). Así mismo, las interacciones deben tener en cuenta la comunicación del entorno y tienen que reconocer el hecho de que los agentes que participan en la interacción tienen otras funciones dentro de los sistemas que no pueden ser controladas. Entonces, el sistema aprende con sus propios hábitos de actuar y decidir, acumular experiencias consigo mismo y consolidar, sobre acciones anteriores, expectativas sobre acciones futuras (Luhmann, 1986).

De esta forma, las redes pueden fundamentar diferentes características del ecosistema. Inicialmente, se puede hacer en un escenario estático, en el que las redes presentan una caracterización de un momento en el que se encuentra la red financiera y el ecosistema, es decir, la evaluación de la interacción y los agentes financieros en un momento dado. Entonces, para revelar los mecanismos de los sistemas complejos, hay evidencia suficiente para identificar, en un escenario estático, patrones a gran escala en sus redes de interacciones con los métodos de detección de comunidades. Tradicionalmente, estos métodos describen la estructura de redes estáticas sin tener en cuenta la dinámica que tiene lugar en ellas (Fortunato, 2010; Fortunato & Hric, 2016). No obstante, esta metodología permite entender la estructura del ecosistema financiero global y, antes de profundizar en las redes dinámicas, las redes de libre escala y las redes temporales, es necesario ampliar algunos conceptos de las estructuras de comunidad, las cuales permiten entender las dinámicas de difusión.

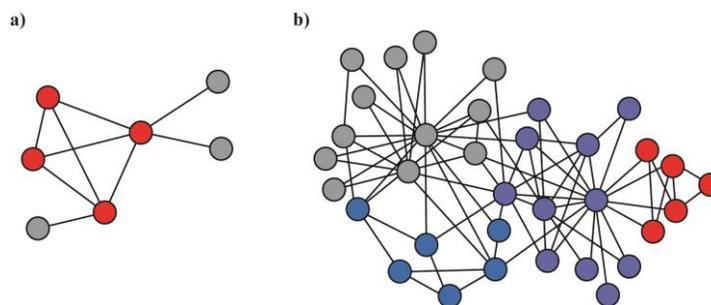
Las estructuras de comunidad son otra forma de entender las redes que se generan en los diversos ecosistemas pues ayudan a identificar la organización y los parámetros estructurales de las redes (Shen, 2013). No obstante, la noción de comunidad es general y, según el contexto, puede ser sinónimo de módulo, clase, grupo, clúster, etc. Entonces, una comunidad se define como un subconjunto de agentes dentro de la red, de manera que las conexiones entre los agentes son más densas,  $w_{ij}$ , que las conexiones con el resto de la red (Radicchi, Castellano, Cecconi, Loreto, & Parisi, 2004) o en su defecto, las densidades de las interacciones terminan siendo más altas dentro

de las comunidades que entre ellas<sup>41</sup> o pueden existir comunidades fuertes o débiles, que surgen de los contextos en que se desarrollan<sup>42</sup>.

En las comunidades puede presentarse superposición, es decir, que una comunidad pertenece a otra y convertirse en una característica del ecosistema financiero<sup>43</sup>. Algunos otros procesos de

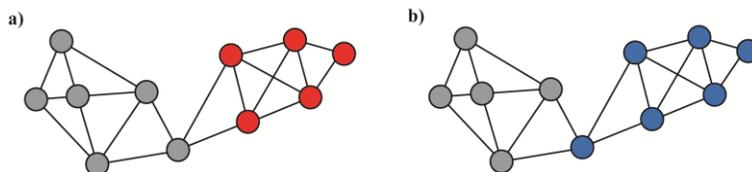
---

<sup>41</sup> Los miembros de una comunidad deben ser contactados a través de otros miembros de la misma comunidad (conectividad) y, a su vez, los agentes que pertenecen a una comunidad tienen una mayor probabilidad de conectarse a los otros miembros de esa comunidad que a los agentes que no pertenecen a la misma comunidad (Figura a), es decir la densidad (Newman, 2004; 2006; Barabási, 2016).



La interpretación de las comunidades  $C_m$  es diferente en los contextos donde se evalúan, por esta razón se puede verificar para este caso los sistemas sociales y biológicos. En los sistemas sociales, Zachary (1977) estableció cómo se podían identificar las comunidades a partir de las interacciones de sus miembros por fuera de un club de karate y cómo al introducir un enfrentamiento entre dos de los miembros principales del club podría fraccionarse el club y crear las correspondientes comunidades (Figura b). Girvan & Newman (2002) complementan esta red de amistad introduciendo un algoritmo que permite identificar más fácilmente los miembros involucrados en la división del club de karate. En los sistemas biológicos, las comunidades permiten comprender el funcionamiento del cuerpo humano, las enfermedades y las redes celulares que muchas veces tienen agentes que tienden a interactuar entre sí y se pueden vincular a una comunidad en especial, más que a otras. Para una ampliación en las estructuras de comunidad en sistema biológicos, véase: Girvan & Newman (2002), Barabási et al. (2011), Goh et al. (2007).

<sup>42</sup> Una comunidad fuerte es un grupo de agentes conectado donde sus agentes tienen más enlaces a otros agentes en la misma comunidad que a agentes que pertenecen a otras comunidades (Figura a). Matemáticamente está definido por:  $k_i^{int}(C_m) > k_i^{ext}(C_m)$ .



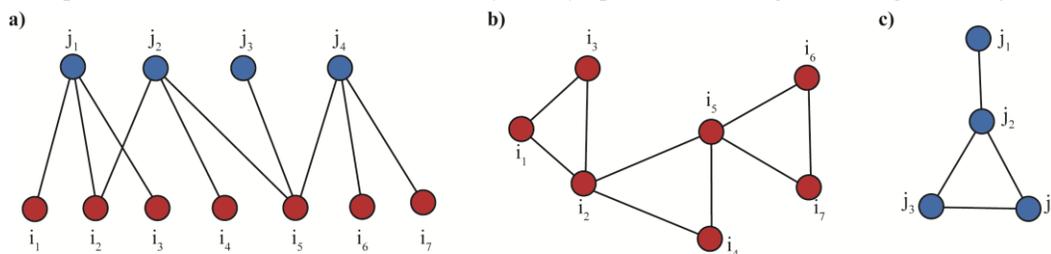
Mientras, una comunidad débil es un grupo de agentes cuyo grado interno total de los agentes excede su grado externo total (Figura b). Matemáticamente está definido por:  $\sum_{i \in C} k_i^{int}(C_m) > \sum_{i \in C} k_i^{ext}(C_m)$ .

<sup>43</sup> En redes de gran tamaño es factible que la noción convencional de comunidad se invalide cuando uno o varios agentes participan en múltiples comunidades, especialmente, en los límites de una comunidad, pues se pueden presentar un número de interacciones con diversas comunidades que superan al número de vínculos internos. Para una ampliación de comunidades superpuestas, véase: Palla et al. (2005) y Xu & Hui (Xu & Hui, 2019) y sus referencias.

conexión del ecosistema podrían darse a partir de redes bipartitas<sup>44</sup> o aquellas redes totalmente interdependientes, en la que dos redes que interactúan tienen una cierta fracción de nodos autónomos cuya función no depende directamente de los nodos de la otra red<sup>45</sup>.

Por otro lado, el ecosistema financiero global y los agentes que interactúan en él, están inmersos en otros subsistemas como se argumenta desde diferentes perspectivas teóricas como la sociología de Luhmann, la antropología de Wolfe (1963) o el análisis de las redes sociales de Wasserman & Faust (1994) y Scott (2012), debido a que existen diferentes tipos de vínculos entre un mismo conjunto de agentes (Mitchell J. C., 1969; Barnes, 1969). Pero, también puede ser argumentado desde los sistemas complejos a través de las redes multicapa, las cuales pueden representar la mayoría de los sistemas complejos que incluyen interacciones múltiples entre agentes, es decir, donde cada agente puede operar en diferentes subsistemas o en varias dimensiones a la vez (Newman M. , 2003; Vazquez, 2006; De Domenico, et al., 2013; Nicosia, Bianconi, Latora, & Barthelemy, 2013). Las redes multicapa permiten establecer la conexión de los agentes en diferentes escenarios, ya que el ecosistema financiero global es un sistema social que no puede

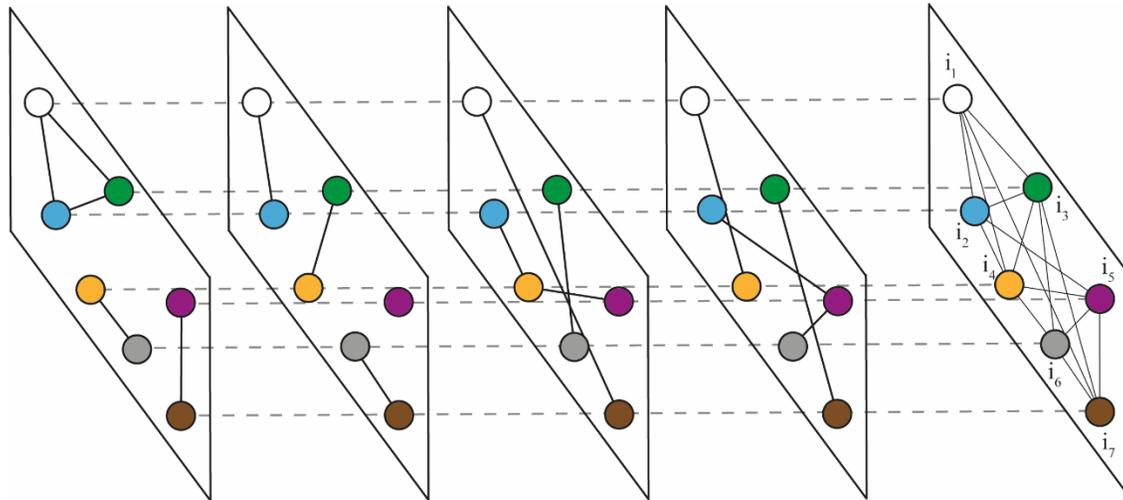
<sup>44</sup> Las redes bipartitas hacen referencia a una red  $G = (U, V, E)$  que tiene dos conjuntos de agentes,  $U$  y  $V$  (Figura a).



Los agentes  $i$  en la red  $U$  se conectan directamente sólo a los agentes  $j$  de la red  $V$ . Por lo tanto, no hay enlaces directos  $U - U$  o  $V - V$ . A partir de la red bipartita se puede generar la proyección de la red  $U$  (Figura b), la cual se obtiene al conectar dos agentes  $U$  entre sí, si se vinculan al mismo agente  $V$  en la representación bipartita. La proyección de la red  $V$  (Figura c) se obtiene conectando dos agentes  $V$  entre sí, si se enlazan al mismo agente  $U$  en la red bipartita (Barabási, 2016). Para una ampliación de las redes bipartitas y sus aplicaciones, véase: Asratian (1998).

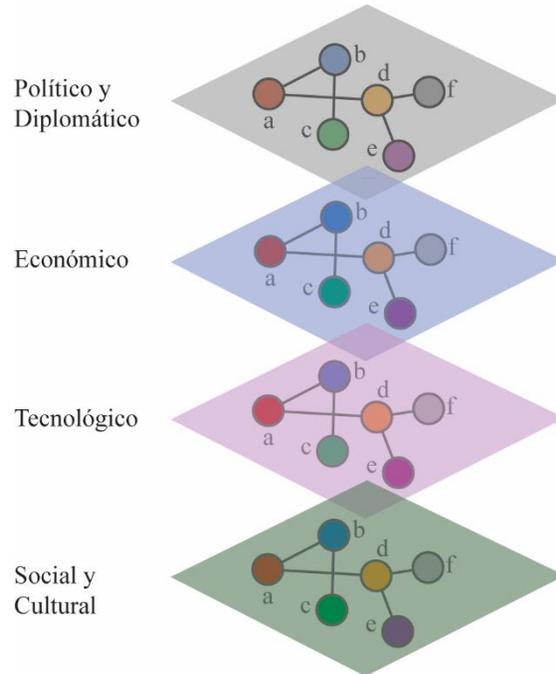
<sup>45</sup> Para una ampliación de las redes formadas por redes interdependientes, véase: Gao et al, (2012) y sus referencias.

reducirse a una única red en la que los agentes se conectan de manera separada mediante un solo tipo de relación, algo que es una aproximación alejada de la realidad (Kivela, et al., 2014).



**Figura 2.3. Interacciones entre agentes en un ecosistema (redes multicapas)**

Al incorporar las características propias de una red que articula lo que es una ecología financiera y la cual se acerca a consolidarse en espacios virtuales y digitales, es necesario revisar la topología de un conjunto de agentes, es decir, una red en  $n$  dimensiones que se traduce en redes multicapas y perspectivas multinivel (Figura 2.3), las cuales facilitan entender cómo los agentes financieros interactúan en varias dimensiones a la vez, así como los agentes humanos y no humanos. Esto se debe a que, en la mayoría de los sistemas naturales, sociales y artificiales, los agentes interactúan entre sí con patrones que pueden abarcar diferentes tipos y, así mismo, cambiar en el tiempo, lo que genera capas de conectividad que hacen más fácil la comprensión de los sistemas financieros como sistemas complejos (Kivela, et al., 2014). En otras palabras, los sistemas financieros como sistemas sociales pueden ser evaluados desde una perspectiva que no establezca fronteras entre las ciencias naturales y las ciencias sociales (Gell-Mann, 1995).



**Figura 2.4. Capas del ecosistema financiero global**

De esta forma, una red de múltiples capas puede tener cualquier número  $d$  de diferentes tipos de participación, y es necesario definir una secuencia  $A = \{A_\alpha\}_{\alpha=1}^d$  de grupos de capas sencillas. Usando la secuencia de capas sencillas se puede construir un conjunto de capas en una red multicapa ensamblando un conjunto de todas las combinaciones de capas sencillas. Entonces, se establece que los diferentes tipos de participación  $\alpha$  de un agente  $i$  con el agente  $j$  está dado por la matriz:  $A_{ij}^\alpha(t)$ , donde  $\alpha = 1, \dots, L$  y, en nuestro caso,  $\alpha = W, X, Y, Z$ . Para el ecosistema financiero global se definen cuatro grandes sistemas que están representados por capas;  $W$  hace referencia al sistema político y diplomático donde habitualmente se han desempeñado los agentes financieros;  $X$  hace referencia al sistema económico,  $Y$  hace referencia al sistema tecnológico y  $Z$  hace referencia al sistema social (ver Figura 2.4). Aunque algunos elementos propios de los sistemas regulatorios han influenciado en la evolución de los agentes financieros y sus interacciones, estos se destacan transversalmente en los sistemas propuestos.

Si bien la dinámica en y de las redes contiene información crucial sobre los sistemas que representan, se ha demostrado cómo incorporar cadenas de Márkov de orden superior para describir la dinámica en las redes. Los modelos de red convencionales asumen implícitamente que a dónde se mueve el flujo sólo depende de dónde está y que este proceso de Márkov de primer orden es suficiente para realizar la detección de la comunidad, la clasificación y el análisis de difusión (Rosvall, Esquivel, Lancichinetti, West, & Lambiotte, 2014). Con este entrenamiento inicial ya se podría iniciar el trabajo en campo de los agentes, aunque precavidamente en necesario revisar los elementos dinámicos de las interacciones, pues estos suelen presentar cómo ha evolucionado la estructura y cómo afecta a los sistemas dinámicos en la red, es decir, cómo evolucionó de un tiempo  $t_1$  a un tiempo  $t_2$ . En la siguiente sección, se identifican varios de los aspectos de las redes dinámicas y las redes de libre escala que permiten entender la dinámica y evolución del ecosistema financiero global, y como esta dinámica se puede presentar en un ecosistema multicapa.

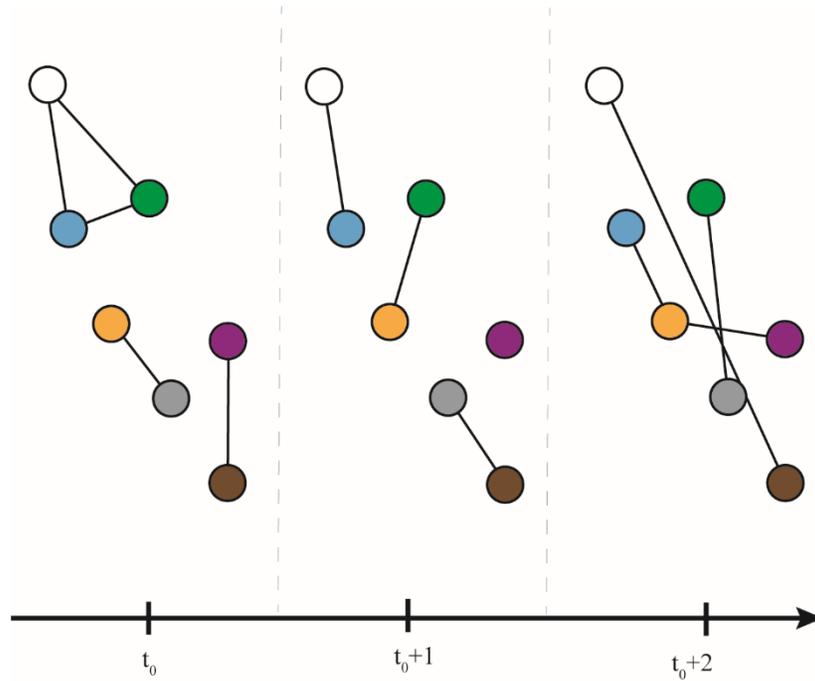
### **2.3 Escapando de Moscú**

El encanto de la bella ciudad de Moscú ha sido parte de una dinámica en la que los agentes quieren estar pero que rápidamente se convierte en un lugar para abandonar o, en ocasiones, para escapar. Desde la Moscovia de Iván III, pasando por el Imperio ruso de los Romanov y la Unión Soviética de Stalin, los agentes han disfrutado de la ciudad, pero también ha sido necesario estar siempre en movimiento porque no se sabe cuál sea el momento en el que se complejizará la interacción entre los agentes. Era parte de lo que escribía M sobre sus primeros años como agente, para lo que sería su intervención inaugural ante un nuevo grupo de agentes que pronto llegarían a la oficina central; pues era necesario hacer referencia a que algunos elementos son parte indirecta del ecosistema y se ven como factores desconexos, ya que no son propios de las actividades financieras, pero su

articulación si puede influir en el ecosistema. Por esta razón, el ecosistema financiero global se articula con las transformaciones políticas, diplomáticas, económicas y sociales que permitan entender la evolución del ecosistema financiero global y su topología en diferentes momentos de tiempo. Es decir, el sistema financiero global ha evolucionado a partir de la confluencia de las transformaciones políticas, diplomáticas y económicas, así como por los cambios que se han generado en los agentes financieros y en la forma en que estos interactúan o se integran al ecosistema.

Esta sección busca establecer cómo evoluciona el ecosistema financiero global durante las transformaciones políticas, diplomáticas, económicas y sociales, para entender que el ecosistema se ha alimentado de estas adicionalmente a las transformaciones tecnológicas, no como un proceso aislado, sino como un proceso que se superpone para funcionar como un sistema abierto, complejo y adaptativo en una estructura dinámica y multidimensional.

Para esto, es necesario entender el funcionamiento de las redes dinámicas (Figura 2.5) y, a partir de estas, las redes de libre escala, para acercarse posteriormente a la evolución de las redes. Las redes dinámicas estipulan que la estructura de la red cambia con el tiempo y que las interacciones pueden estar o no estar y en otras ocasiones lo mismo sucede con los agentes. Cuando solamente varían las interacciones, nos acercamos a las redes temporales (Sección 3.2) y cuando hay cambios en las interacciones y en los agentes nos acercamos a las redes de libre escala. Así mismo, la duración de los cambios pueden ser transitorios, es decir, la dinámica se produce durante un período, después del cual el sistema vuelve a ser estático durante un tiempo determinado o continuo, en el caso en que los cambios ocurren constantemente y el sistema tiene que adaptarse de la misma forma a ellos (Dutta, Pandurangan, Rajaraman, Sun, & Viola, 2013).



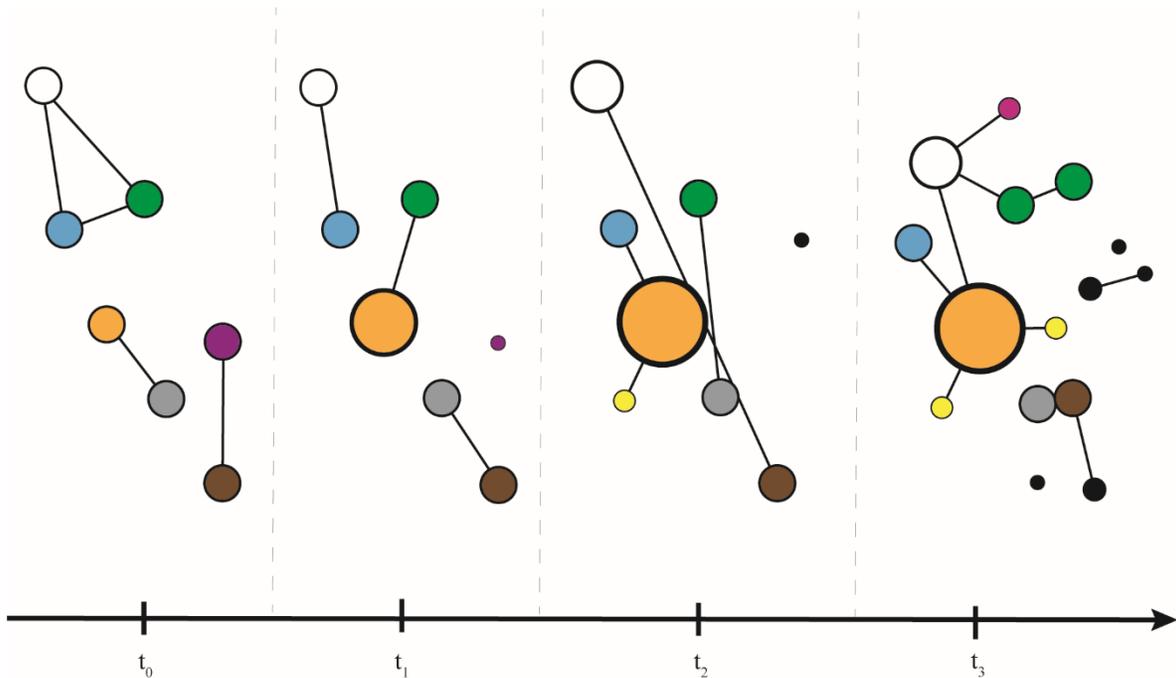
**Figura 2.5. Redes Dinámicas**

Por otro lado, una red libre escala es una red conectada con la propiedad de que la cantidad de enlaces  $k$  que se originan desde un agente  $i$  exhibe una distribución de ley de potencia, es decir, la probabilidad  $P(k)$  de que un agente en la red interactúe con otros agentes decae como una ley de potencia determinado por (Barabási & Albert, 1999):

$$P(k) \sim k^{-\gamma} \quad (2.1)$$

Es decir, una red libre de escala se puede construir agregando agentes progresivamente a una red existente e introduciendo enlaces a agentes existentes con conexión preferencial de modo que la probabilidad de vincularse a un agente determinado  $i$  sea proporcional al número de enlaces existentes  $k$  en un respectivo agente (Figura 2.6), en este caso un agente financiero, como se amplía con la aptitud  $f_i$  en la Sección 5.3. Este resultado indica que las grandes redes se autoorganizan en un estado libre de escala, una característica que no es predecible por todos los modelos de redes,

ya que no todos incorporan el crecimiento y la conexión preferencial, dos características clave de las redes reales<sup>46</sup>.



**Figura 2.6. Redes de libre escala**

De esta forma, ante la variedad del comportamiento de los agentes financieros, la definición de patrones se hace más difícil en los sistemas dinámicos y por esto es necesario establecer que la dinámica de un sistema con  $N$  agentes se caracteriza por que cada agente  $i$  puede tener una actividad independiente  $x_i(t)$  que le genera su propia dinámica, pero su interacción con los agentes financieros más cercanos define el mecanismo dinámico del sistema<sup>47</sup>.

<sup>46</sup> En este caso, los agentes más antiguos aumentan su conectividad a expensas de los más jóvenes, lo que lleva con el tiempo a que algunos agentes que están altamente conectados a ser partícipes del fenómeno de “enriquecerse para enriquecerse” (Barabási & Albert, 1999).

<sup>47</sup> Matemáticamente, esto está dado por:  $\frac{dx_i}{dt} = W(x_i(t)) + \sum_{j=1}^N A_{ij}Q(x_i(t), x_j(t))$ , donde: el primer término identifica la dinámica independiente de cada agente mientras el segundo captura la interacción del agente  $i$  con sus vecinos a través de la matriz de adyacencia  $A_{ij}$  y el mecanismo dinámico que rige las interacciones esta dado por  $Q(x_i, x_j)$  (Barzel & Barabási, 2013).

Dependiendo de esto se puede identificar esta dinámica a través de experimentos de perturbación, que exploran los cambios en la actividad  $x_i$  del agente  $i$  en respuesta a los cambios inducidos en la actividad del agente  $j$ , los cuales pueden generar varios efectos: primero el impacto que tiene sobre sus vecinos, la afectación de la estabilidad y el alcance que puede tener en el vecindario más cercano, es decir, su capacidad de propagación local y, también, la propagación en agentes más distantes, que en este caso se podría establecer como el impacto en el ecosistema financiero global.

- *¿La red de agentes siempre crecerá?*, preguntaba Tom Bishop. un agente veterano que había iniciado en la inteligencia computacional después de la Guerra de Vietnam.
- *No lo sabemos, pero es claro que los agentes evolucionan constantemente*, contestaba M.

Las redes están en constante crecimiento y evolución y, adicionalmente, existen varias metodologías de análisis y modelos para su explicación. No obstante, ¿qué sucede cuando no existe una conexión preferencial ni tampoco se conoce su procedencia?, ¿qué sucede cuando cada agente tiene diferentes parámetros de aptitud y de competencia por las interacciones?, ¿qué sucede cuando los grados de cada uno de los agentes nuevos no es constante y depende de en qué momento ingresó el nuevo agente y cuando se incluye la temporalidad? La respuesta a estos interrogantes es parte de entender la evolución del ecosistema financiero global a partir del impacto que tengan perturbaciones como la inteligencia artificial, lo cual se abordará nuevamente en los capítulos cuatro y cinco.

Entendiendo que el ecosistema es dinámico, es necesario definir que este también interactúa en diferentes capas en las que a su vez se distinguen otras capas o interconexiones, pues el ecosistema financiero requiere comprenderse a partir de la coexistencia de diferentes escalas de tiempo y patrones estructurales como las comunidades u otros topológicos y geométricos que demandan

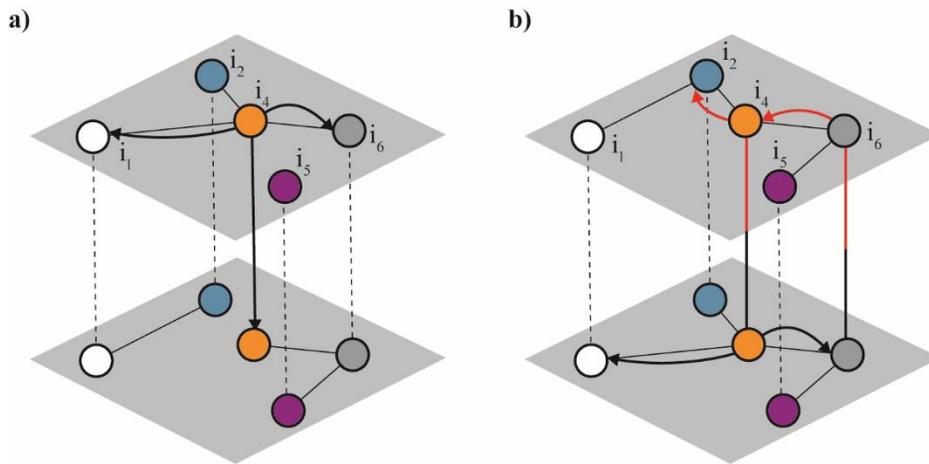
nuevas formas de descripción y aproximación (Mucha, Richardson, Macon, Porter, & Onnela, 2010). En otras palabras, es necesario establecer cómo identificar los procesos dinámicos de los agentes en redes multicapa, es decir, cómo los agentes financieros se pueden integrar a los procesos dinámicos que tiene el ecosistema, pues esto permite identificar los procesos de difusión de información y los flujos que generan las diferentes interacciones entre agentes financieros y no financieros.

Por lo tanto, se identifican comportamientos y patrones que no se perciben fácilmente en esquemas de una única capa, pues las interconexiones entre capas determinan cómo un agente en una capa y su contraparte en otra capa están vinculados y pueden influir entre sí, y, adicionalmente, se logra representar el acoplamiento de las estructuras y los procesos dinámicos de los agentes que están interactuando utilizando diferentes tipo de relaciones que pueden llegar al punto de convertirse en redes multicapas interconectadas (Gómez, et al., 2013; De Domenico, Granell, Porter, & Arenas, 2016; Solé-Ribalta, Gómez, & Arenas, 2016).

- *¿Entonces los procesos dinámicos son iguales?*, preguntaban indistintamente los agentes que escuchaban la conferencia inaugural de M.
- *No. Los procesos dinámicos son diferentes*, exclamaba Tom, quien era el agente principal de M.

Los procesos dinámicos pueden ser identificados de diferentes maneras en las redes multicapa, pues puede presentarse un solo proceso que se ejecuta en todas las capas o procesos independientes en cada capa que se acoplan por las conexiones que se dan entre los agentes en diferentes capas, es decir, porque existe una estructura interconectada en la red multicapa (De Domenico, Granell, Porter, & Arenas, 2016). En el caso de un solo proceso dinámico, este va a depender de la estructura al interior de cada una de las capas y de la estructura que surge entre capas, sin embargo,

se cual sea el proceso dinámico, este se presentará de manera más rápida sin importar que especificaciones tenga el mecanismo, tales como de difusión, de propagación o de transición (Figura 2.7a)<sup>48</sup>. Mientras para el caso de dos o más procesos dinámicos, es necesario identificar que estos procesos pueden acoplarse al ser situaciones concurrentes, pues una puede ser un tipo de interacción diferente a la otra, pero que involucran a los agentes de la misma forma (Figura 2.7b). En este caso, los dos procesos pueden ser conexos y complementarios, pero también pueden ser desconexos, es decir, generar un nuevo proceso buscando reducir el anterior; para lo cual, los procesos tendrán diferentes temporalidades.



**Figura 2.7. Procesos dinámicos en redes multicapas.**  
a) Proceso dinámico simple. b) Acoplamiento de procesos dinámicos.

A partir de estos argumentos, se establece que varias de las transformaciones políticas de los principales países del contexto internacional se fusionaron con las estructuras mercantiles,

<sup>48</sup> Sea una red multicapa compuesta por  $N$  agentes que interactúan a través de diferentes capas  $L$  y que se asocian a la matriz  $A_{ij}^\alpha(t)$ , donde la matriz será igual a 1 si  $i, j$  se conecta en la capa  $\alpha$  y 0 si no se conectan y la que  $\alpha = 1, \dots, L$ . De esta forma, el proceso de difusión requiere la integración de la evolución temporal en el estado de una cantidad genérica que fluye en el nodo  $i$  en la capa  $\alpha$  y se establece la evolución dinámica del estado de los agentes considerando una red de  $L$  capas es  $\frac{dx_i^\alpha}{dt} = D^\alpha \sum_{j=1}^N A_{ij}^\alpha (x_j^\alpha - x_i^\alpha) + \sum_{\beta=1}^L D^{\alpha\beta} (x_i^\beta - x_i^\alpha)$ , donde  $D^\alpha$  es el coeficiente de difusión al interior de cada capa y el coeficiente de difusión entre capas esta dado por  $D^{\alpha\beta}$  con la condición que  $D^{\alpha\alpha} = 0 \forall \alpha$ . Una mayor profundización de este modelo, véase: Gómez, et al (2013) y Cencetti & Battiston (2019).

bancarias y financieras y lograron obtener beneficios, es decir, estas relaciones permitieron avanzar y desarrollar negocios de diferentes índoles con los países y los empresarios. Sin embargo, todo esto se sustenta en la conexión con los agentes financieros, en especial con la actividad de banca de inversión, servicios que fueron usados en primera instancia por los gobiernos, con la emisión de bonos para la financiación de guerras e infraestructura interna<sup>49</sup>. En otras palabras, las fuerzas económicas y el avance tecnológico crearon una economía global altamente integrada (Gilpin, 1971), en la que el capital financiero, a través de las relaciones internacionales, fue el que más rápidamente se dispersó en los diferentes lugares del mundo donde eran necesarios los recursos para avanzar en la integración de los procesos productivos, la transformación de materias primas y la transferencia de factores de producción. Es necesario, entonces, revisar la evolución del ecosistema a través de algunos ejemplos históricos.

## 2.4 Una primera emergencia

- *¿Como identificar la evolución de Eukaryote?*, le preguntaban indistintamente a M.
- *Debemos hacer una investigación de redes históricas que faciliten ese entendimiento*, respondía M.

Existen varios ejemplos históricos para explicar los elementos planteados anteriormente y esta nueva perspectiva científica implica, como argumenta Kuhn (2000, p. 117), “un cambio fundamental en algunas categorías taxonómicas”, donde la propuesta teórica es un proceso dirigido desde atrás, es decir, una evolución desde un lugar y no hacia un lugar, porque los aspectos históricos permiten entender la evolución y la construcción del ecosistema financiero global, en una nueva ecología financiera que permita identificar patrones y simular los escenarios futuros en unidades en microtiempos. En los siguientes ejemplos de manera simplificada, se integran en una

---

<sup>49</sup> Para un mayor detalle de la evolución de la banca de inversión en Estados Unidos, véase Carosso (1970).

capa agregada  $L_{[0]}$  las diferentes interacciones que tuvieron los agentes financieros en dimensiones políticas, diplomáticas y económicas.

Un primer ejemplo es el periodo después del Congreso de Viena de 1815, en el que Europa tenía un nuevo esquema de relaciones internacionales, que ya no solamente se consolidaba la capacidad económica, política y militar de los grandes imperios, sino la capacidad económica y el capital financiero de los bancos mercantiles, debido a que agentes financieros como Baring y Rothschild habían edificado el concierto europeo a partir de varias transacciones financieras. La frase de Duc de Richelieu en 1818 vinculaba seis grandes poderes, pero pronto serían siete poderes los que estarían interactuando: Gran Bretaña, Francia, Austria, Prusia, Rusia, Baring Brothers y N.M. Rothschild<sup>50</sup>.

Estos dos agentes financieros, Baring y Rothschild, se convirtieron en los banqueros más grandes durante la época, sin dejar de lado otros agentes que no lograron una notoriedad permanente, sino que fueron ascendiendo o descendiendo en diferentes momentos a lo largo del siglo XIX y posteriormente del siglo XX<sup>51</sup>, pues la superposición de los diferentes escenarios definió la transformación y evolución de los agentes financieros. Rothschild, Baring y un grupo creciente de agentes financieros continuaron liderando los mercados de crédito a partir de los cambios que los escenarios políticos y diplomáticos establecían alrededor del mundo<sup>52</sup>.

---

<sup>50</sup> Para una ampliación de la historia de estas dos casas bancarias, véase: Ziegler (1988) para el caso de Baring y Ferguson (1998) para el caso de Rothschild.

<sup>51</sup> Agentes financieros como Hope & Co. en Ámsterdam, Harman, Hoare & Co. en Londres y Parish & Co. en Hamburgo transformaron el ecosistema financiero global del siglo XVIII (Samhaber, 1960).

<sup>52</sup> El éxito de estos agentes financieros fue emulado por varias firmas, algunas copiaron el modelo Baring de una evolución hacia la financiación pura y otros emularon una característica propia de Rothschild, la estructura familiar judío-alemana o judío-americana, en la que la diversificación de los lugares de negocios se hacía con el traslado de los hijos o herederos a diferentes lugares de Europa y posteriormente a Estados Unidos. Para un análisis más detallado de este tipo de estructuras, véase Chapman (1984) y Carosso (1970).

No obstante, es necesario detenerse para identificar como la actividad financiera se incorporó con el escenario político y diplomático. El capital financiero y las operaciones de crédito que sustentaron el concierto europeo fueron vitales para organizar el avance económico, político y diplomático de la región. En algunas operaciones, la financiación estuvo en cabeza de un solo agente, pero algunas operaciones se hicieron a través de la sindicación de recursos<sup>53</sup>, como el crédito al Imperio austriaco por 2.5 millones de libras realizado por Baring, Rothschild y Reid, Irving & Co<sup>54</sup>, pero también las demás operaciones realizadas al imperio austriaco, a Francia, Prusia y Rusia que fueron definiendo la actividad financiera como parte de las necesidades políticas y económicas de cada uno de los gobiernos imperiales o republicanos. Es factible que en ocasiones la intención por mantenerse en el poder no solamente se quedaba en los intereses de la monarquía, sino también de los agentes financieros a través de sus vínculos como inversionista, banquero y prestamista, ejemplo de esto fue el crédito al gobierno austriaco en 1852, donde las 2/3 partes de la emisión de bonos fueron reservadas para Rothschild y lo demás para ser suscrito en el mercado de Frankfurt<sup>55</sup>.

Por otro lado, Prusia queriendo aprovechar la estabilidad política dada por el Congreso de Viena y la Santa Alianza, buscó ser sujeto de crédito para avanzar en el escenario económico, aprovechando los recursos excedentarios de la banca mercantil y la imperiosa necesidad de Rothschild de mostrar su capacidad. Pero esto a su vez se articula con el interés de los miembros

---

<sup>53</sup> Los créditos sindicados hacen referencia al financiamiento ofrecido por un grupo de agentes financieros, denominado sindicato, que definen conjuntamente las características y condiciones para proporcionar fondos a un sólo prestatario.

<sup>54</sup> M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series XIII/206/1, Box 1. The Rothschild Archive, London.

<sup>55</sup> El crédito fue realizado por 3.5 millones de libras esterlinas a una tasa de 5%, de los cuales 2,25 millones de la emisión estaban reservados para ser adquiridos por N.M. Rothschild & Sons en Londres, como lo explican varios de los documentos fechados con el 11 de junio de 1852. M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series XI/38/8A. The Rothschild Archive, London.

de la Santa Alianza de contrarrestar los ideales liberales de la Revolución francesa y sostener el poder de la monarquía, es decir, los agentes financieros actuaban para dar forma a las transformaciones políticas y diplomáticas y, estas a su vez, moldeaban a los agentes financieros, sus interacciones y por ende al ecosistema. De esta forma, en abril de 1818 se firmó el contrato de un crédito por valor de cinco millones de libras esterlinas con Rothschild, que sería reforzado posteriormente con un nuevo crédito de 3.5 millones de libras esterlinas en junio de 1822 que permitió suplir las necesidades que el gobierno prusiano tenía en ese momento<sup>56</sup>.

En el caso de Francia se otorgó un crédito por más de 23 millones de Francos en 1823 a una tasa de 5%<sup>57</sup>, era una muestra adicional de la importancia que se desprendía de la estabilidad política para el avance económico, ese equilibrio europeo se logró a partir de parámetros crediticios y no bélicos, que apartaron el objetivo de los gobernantes de buscar su poder a través de la expansión territorial y pasar a la expansión capitalista. Era la forma de consolidar la política y los intereses nacionales bajo un nuevo esquema, mostrando que la diplomacia financiera podía cambiar el trayecto de las naciones. Es así como Grecia, después de luchar por su independencia del imperio Otomano por más de once años (1821-1832), logró, con la colaboración, no solamente de Inglaterra, Francia y Rusia, sino por la posibilidad de recibir por parte de la Casa Rothschild de París y Londres un crédito que le permitiera avanzar como una nación independiente. La visión aliada no fue con las armas, sino como garante de la obligación, ya que este crédito fue garantizado por Inglaterra, Francia y Rusia en partes iguales<sup>58</sup>, dándole la oportunidad a Grecia de avanzar de

---

<sup>56</sup> La operación de 1818 se hizo por valor de cinco millones de libras esterlinas a una tasa de 5% y la operación de 1822 se hizo por valor de 3.5 millones de libras esterlinas a una tasa de 5%. Las dos operaciones eran pagadas en Londres. M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series 000/401A/1. The Rothschild Archive, London.

<sup>57</sup> M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series XIII/206/1823. The Rothschild Archive, London.

<sup>58</sup> M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series XIII/206/1, File 1833Greek. The Rothschild Archive, London.

forma independiente y aminorar la capacidad y el territorio del imperio Otomano que desde 1456 ocupaba Grecia, así como vastas regiones de Europa Oriental.

Para el caso de Rusia se presentó una situación similar, donde la financiación por parte de Rothschild fue vital para el avance económico, para organizar una estructura económica que le permitiera al imperio ruso afianzarse en Europa y activar una revolución industrial suficiente para no perder más espacio del que estaban perdiendo las económicas de Europa continental con Gran Bretaña. Rusia acudió a un agente financiero con el que varios gobiernos se sentían cómodos con el proceso de negociación y la capacidad de relacionar las cuestiones políticas y las necesidades crediticias con el apetito de los inversionistas. Rothschild tenía la posibilidad de vincularse rápidamente con los gobiernos y expandir sus intereses económicos y financieros bajo los parámetros de la confianza y las relaciones de largo plazo:

“tuvimos el honor de contratar con su excelencia con una duración más larga de lo que en un principio se esperaba, el precio acordado con su excelencia estamos seguros de que ninguna otra casa mercantil en Londres o en otros lugares le podría haber dado y que nos hemos mantenido lo más cerca de las circunstancias políticas, cautelares y otros que permiten o el plan propuesto por su excelencia”<sup>59</sup>.

Un segundo ejemplo fue la interacción de los agentes financieros con otros agentes que actuaban como corresponsales, que les permitió estructurar negocios de cualquier índole, a partir de la capacidad que tenían estos para reconocer las diversas posibilidades en los mercados locales, el aprovechamiento de sus relaciones o en ocasiones su reconocimiento en los mercados

---

<sup>59</sup> Esta operación de 6,6 millones de libras a una tasa de 5% en 1822 realmente se hizo por 43 millones de rublos plata a una tasa de 5%, donde los costos de seguros fueron asumidos por el Imperio Ruso (artículo 3) y el desembolso del crédito se hacía en lingotes de oro o plata (artículo 5), de acuerdo con lo estipulado en el contrato de crédito. M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Series 000/401A/2. The Rothschild Archive, London.

internacionales, con una particularidad y es que varias de esas interacciones presentan estructuras de redes egocéntricas<sup>60</sup>, en las que existen una característica de un agente que se convierte en el dinamizador de la red. Es así como algunos corresponsales de Baring como Hope & Co. en Ámsterdam y Hottinguer & Cie., en Paris, John Parish y Solomon Heine en Hamburgo, Delius & Schumacher en Bremen<sup>61</sup>, Arnstein & Eskeles y Baron Kraus en Austria, Joshua Bates en Londres, eran tan importantes como ellos mismos (ver Figura 2.8a). Desarrollaron negocios desde operaciones de crédito en Rusia, operaciones financieras y mercantiles en Suramérica o transacciones comerciales en Norteamérica, a partir de un esquema de comisiones que benefició considerablemente su acumulación como la de otros grandes agentes financieros. Su capacidad de relación con los esquemas del poder político y la clase terrateniente e industrial del mundo les permitió asesorar grandes negocios mercantiles o de desarrollo de infraestructura.

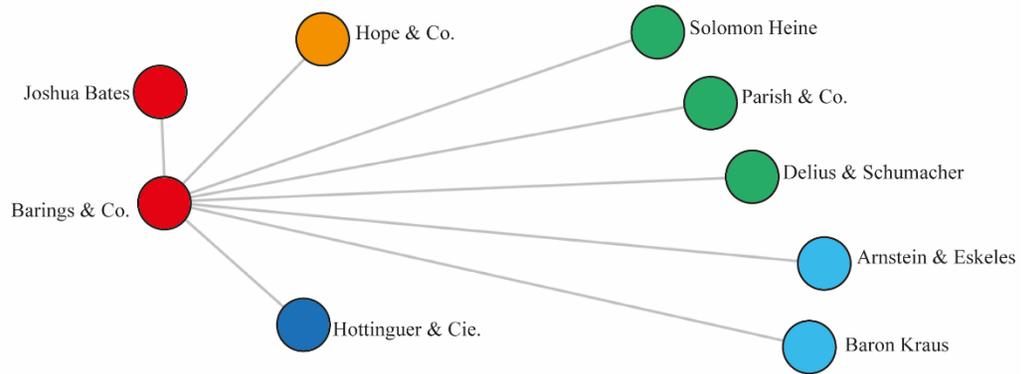
Rothschild contaba con agentes financieros corresponsales que en primera instancia se estructuraban a partir de sus redes familiares en Frankfurt, Paris, Viena, Nápoles y Londres; y a partir de ahí, otros que atendían diversos tipos de negocios como August Belmont & Co., que desde 1837 lideraba los negocios generales y privados de Rothschild en los Estados Unidos, así como Landenburg, Thalmann & Co, Lee, Higginson & Co., Kuhn, Loeb & Co., los cuales formaron parte de un sinnúmero de negocios financieros, pero que también les permitió vincularse como corresponsales de los negocios del gobierno de Estados Unidos en Europa (ver Figura 2.8b).

---

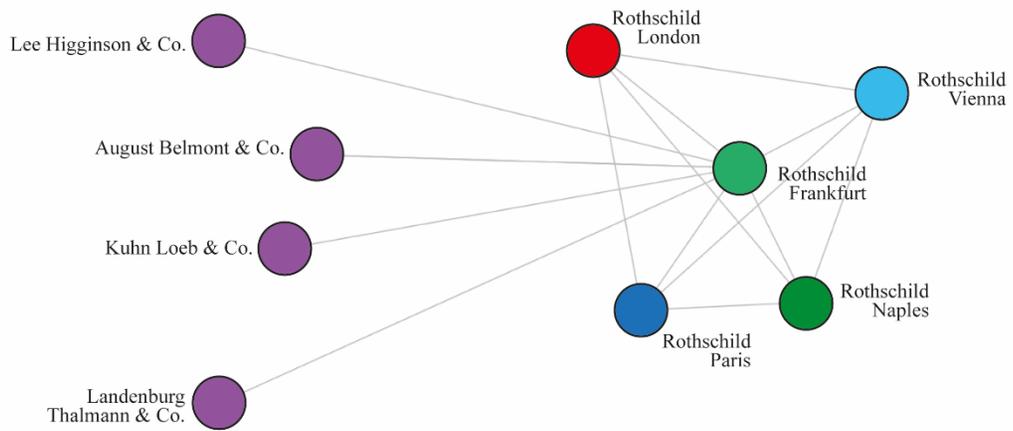
<sup>60</sup> Una red egocéntrica  $G_t$  es aquella red que establece sus interacciones a partir de la centralidad de un nodo y logra fortalecer el avance de las interacciones entre nodos a partir de la transitividad. Para una ampliación, véase: Scott (2012).

<sup>61</sup> Las operaciones de comercio que se hicieron con este corresponsal fueron importantes referente a la compra de algodón en Nueva Orleans. Baring House Correspondence: Series HC9, Folio 9.4b. The Baring Archive, London.

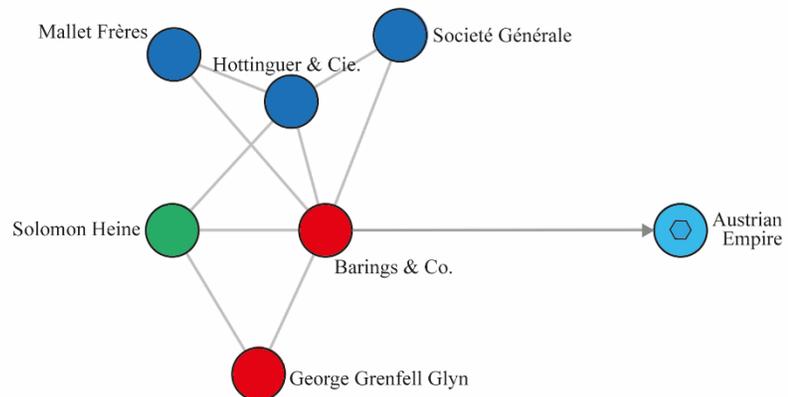
a)



b)



c)



**Figura 2.8. Redes internacionales de agentes financieros antes de 1900.**

**a)** Red europea de Baring. **b)** Red de Rothschild en Estados Unidos. **c)** Red de crédito en 1860 para el imperio Austriaco.

Igualmente, esto también dio la posibilidad de dividir el riesgo que generaban los imperios como Austria-Hungría a través de la estructuración de créditos sindicados, los cuales eran cada vez más frecuente con el pasar de los años, por esta razón, Baring le interesó permanecer en el mercado de crédito con sus más cercanos rivales, pero diversificando la consecución de recursos. Para algunos créditos en la década de 1860 estaban vinculados varios de sus socios como George Grenfell Glyn, Hottinguer & Cie., Mallet Frères, Heine y Societé Générale. Los motivos se centraban en la capacidad de pago y en buscar dividir el riesgo ante situaciones que afectaran la evolución de la operación, como los cambios en la estructura jurídica ante decisiones políticas que afectaran los acuerdos de la operación<sup>62</sup>.

Era definir la interacción de los agentes financieros en esquemas de red para operaciones específicas, que permitieron consolidar una red más allá de las fronteras geográficas (ver Figura 2.8c). Sin embargo, en ocasiones este esquema no era funcional y la sindicación de recursos no se lograba generando diferencias entre los clientes y los agentes financieros vinculados, es decir, las interacciones no se establecen *per se* a pesar de existir el interés de parte de los agentes, sino que son aspectos que van definiendo las características del ecosistema financiero. Un ejemplo de esto fue el caso de la negociación de un crédito internacional para el gobierno austriaco, que no logró realizarse por las condiciones propuestas por la Casa Rothschild en Viena<sup>63</sup>.

La relevancia de las redes de agentes financieros se sustentó en la viabilidad que existía para que los países se vincularan con la gran cantidad de recursos disponibles en los mercados financieros y buscar la forma de activar su capacidad económica y fortalecer su poder político, es decir, los agentes financieros iniciaban sus interacciones a partir de las necesidades que se desprendían de

---

<sup>62</sup> Esto se presenta en las cartas de George Glynn, representante del Banco Anglo Austriaco en Londres, a Thomas Baring. Baring House Correspondence, Series HC9, Folio 9.25, File 2. The Baring Archive, London.

<sup>63</sup> Las cartas enviadas a Thomas Baring por Charles de Becke secretario del Ministro de Finanzas de Austria. Baring House Correspondence: Series HC9, Folio 9.25, File 8. The Baring Archive, London.

los escenarios político, diplomático y económico de los imperios y después de los países, lo que generó una retroalimentación de los escenarios y de las interacciones que se desprendían de los agentes financieros. Para esto la monarquía europea estaba dispuesta a asumir cualquier tipo de riesgo para avanzar, desde el Rey del Reino de las dos Sicilias, Fernando I y su objetivo de permitirle a su recién conformado territorio, resultado de la fusión de Nápoles y Sicilia, de avanzar en infraestructura y solidificar su proceso económico.

La situación que se presentó en la infraestructura fue una pieza fundamental en las discusiones de los agentes financieros, ya que esta podría ser la ventaja para que las actividades de comercio, así como el pago de obligaciones que se garantizaban con los impuestos a estas actividades, avanzaran y fortalecieran el progreso económico de las regiones<sup>64</sup>. Así como la consolidación política en la Italia unificada, donde la ayuda de Carl Hambro<sup>65</sup> fue fundamental para llevar a Víctor Emmanuel a ser Rey, así como la ayuda para el nuevo Rey de Grecia después de la revuelta de 1862 donde se eligió al Príncipe Alfredo, segundo hijo de la Reina Victoria, por esta razón, los Hambro fueron llamados los creadores de reyes (Wechsberg, 1966).

También, en otros momentos del siglo XIX, como la compra de Tabaco de Kentucky por parte del reino de Nápoles, donde Baring y Hottinguer fueron sus asesores, hasta la gestión para construir el ferrocarril ruso en la década de 1850. Se entrelazaban relaciones personales que permitían avanzar en los procesos de negociación, así como el mismo desarrollo de proyectos de gran

---

<sup>64</sup> Un ejemplo de esto es el reporte de los ferrocarriles de Italia. Baring House Correspondence: Series HC9, Folio 9.22, Part 2, File 1856. The Baring Archive, London.

<sup>65</sup> Los orígenes de la casa Hambro se da cuando Calmer Joachim Hambro recibe su licencia como mercante de la nación judía en Copenhagen el 14 de abril de 1779. Sin embargo, es hasta 1839 cuando Hambro escoge definitivamente a Londres como centro de su actividad y no Copenhagen. Para conocer a profundidad la historia de esta casa bancaria, véase: Bramsen & Wain (1979) y Hambros Bank (1939).

envergadura como el ferrocarril ruso, donde la relación entre Henry Hottinguer y Thomas Baring fue vital para que se lograra el avance de este proyecto<sup>66</sup>.

La conformación de redes a partir de las necesidades que se desprendían de los escenarios político, diplomático y económico también se presentó en las actividades de financiación y descuentos de operaciones mercantiles en lugares distantes a las economías centrales, que llevaron a la quiebra a algunos agentes financieros porque sus corresponsales en esos lugares dejaron de realizar los pagos, como fue el caso de Reid, Irving & Co con sus contrapartes en Calcuta. Algo similar ocurrió con las operaciones de crédito en los primeros años republicanos en algunos países de América Latina donde los nuevos países no cumplían con sus pagos o donde las operaciones de crédito se convertían en parte de la sostenibilidad política del poder imperial en el Brasil del siglo XIX.

Antes de la Gran Guerra y en plena revolución industrial, existen otros dos ejemplos que fueron resultado de las interacciones de los agentes financieros, pero que impactaron los escenarios económicos y se requirió de la misma red de agentes financieros para solucionar los problemas. El tercer ejemplo es la crisis Baring en 1890. Este caso como resultado de la alta exposición de Baring & Co. en Argentina requirió de un grupo de banqueros para subsanar la situación que podía acarrear problemas al ecosistema financiero global. Aunque se presentaron efectos colaterales, la misma red tomo la decisión de apoyarse y no caer en la posibilidad de una quiebra masiva de entidades dado el volumen de operaciones que tenía Baring alrededor del mundo y su conexión con diferentes ecosistemas locales. Es así como, en cabeza del Banco de Inglaterra entidad reguladora y los principales agentes financieros de Londres encabezados por Rothschild se logró

---

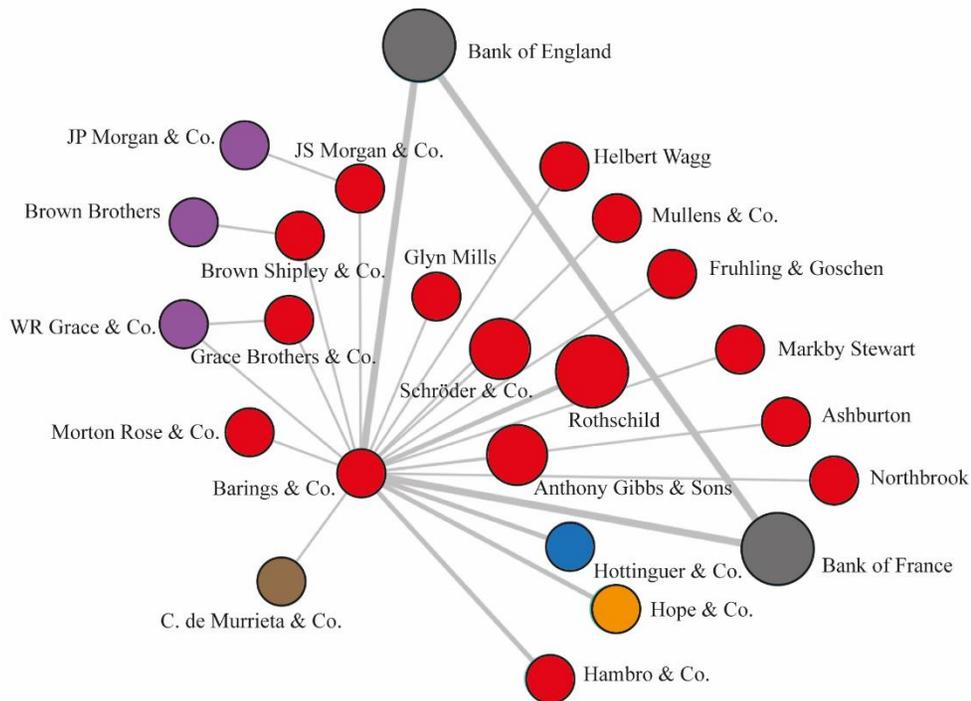
<sup>66</sup> La gran cantidad de cartas que se escribieron Henry Hottinger y Thomas Baring para la planeación y construcción de ferrocarriles en Rusia y lo relacionado a los parámetros financieros de las operaciones, las posiciones de la competencia y la selección del mercado bursátil para la colocación de las emisiones correspondientes; muestran el detalle y la precisión con que se estructuró una operación que permitió la conexión del vasto territorio ruso y que tuvo importantes beneficios económicos para las dos casas financieras. Baring House Correspondence: Rothsc Series HC7, Folio 7.1, Part 8, File 1052-1132. The Baring Archive, London.

superar la crisis y evitar el colapso del ecosistema. El centro de la red era Baring, quien era el que generaba la crisis y su colapso traería problemas para el Banco de Inglaterra, para el Banco de Francia, para los demás agentes financieros que interactuaban frecuentemente con él y, adicionalmente, para la sociedad inversionista desde Londres hasta Buenos Aires (ver Figura 2.9a). Es decir, la situación estableció que la actividad  $x_i(t)$  de Baring impactaba a varios de sus más cercanos socios (vecindad) como parte de su aptitud en los negocios financieros y, que, de no ser por la acción de los demás bancos, la perturbación podría haber sido mayor y, aún más, el proceso de resiliencia.

Por otro lado, el ecosistema financiero local de los Estados Unidos aún no se incorporaba en su totalidad en los procesos financieros globales. Para 1866, Estados Unidos ya contaba con casi 2.000 bancos y en los siguientes años, a pesar de las crisis financieras de 1873 y 1893 generadas por las inversiones especulativas en acciones, bonos y bienes raíces, así como por el consumo de las reservas de varios bancos tanto por retiros masivos como por el mal uso de los depósitos (Hoffmann, 1970; Kindleberger & Aliber, 1978), el número de bancos se incrementó hasta llegar a 13.053 bancos empezando el siglo XX.

La explosión de agentes financieros de todo tipo, entre las que se destacaban los bancos comerciales, los bancos mutuales de ahorro, las firmas de inversión y los bancos privados, ya contaban con más de 20.000 oficinas de atención y se situaban en cada una de las poblaciones que tenían más de 5.000 habitantes, es decir, existían casi 28 oficinas por cada 100.000 habitantes; con niveles considerablemente superiores en Nueva York, Chicago, Filadelfia y Boston (Williams, 1901; Goldsmith, 1958).

a)



b)



**Figura 2.9. Redes de agentes financieros ante situaciones de crisis.**

**a) Crisis de Baring 1890. b) Crisis bancaria de 1907 en Estados Unidos.**

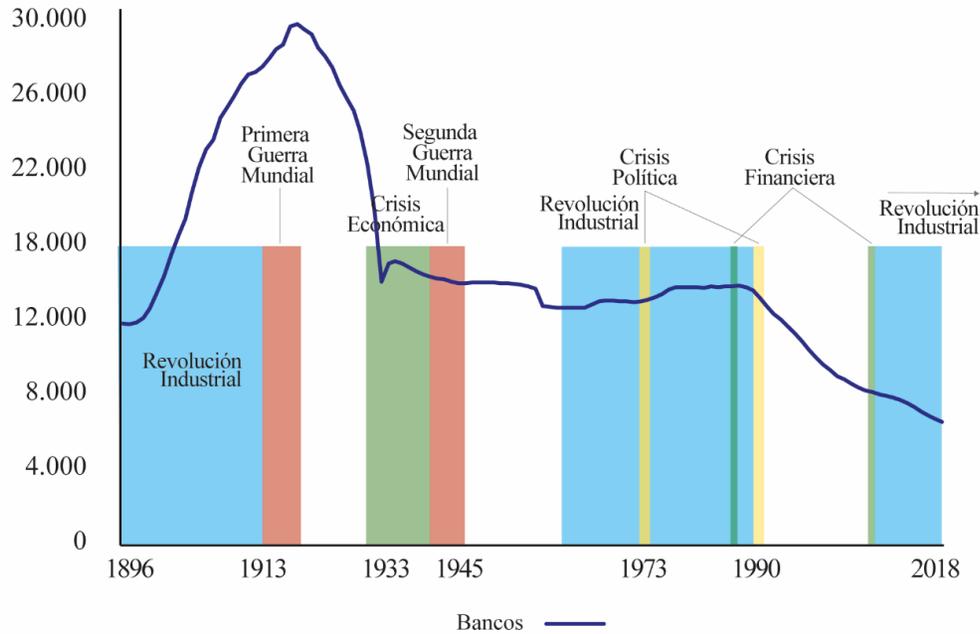
El cuarto ejemplo es la crisis de 1907, la cual llevo al colapso a varios bancos comerciales, pero también a firmas de inversión que habían proliferado después de la crisis de 1893. La caída del fondo Knickerbocker y la iliquidez crediticia solo fueron superadas por la inyección de capital del Departamento del Tesoro y el apoyo de JP Morgan & Co., quienes redujeron las posibilidades de un colapso de insolvencia de una mayor cantidad de bancos al unirse con Bankers Trust, National City Bank, First National Bank y en menor medida Kuhn Loeb & Co. para inyectarle liquidez al mercado financiero (Bruner & Carr, 2007). En este caso, JP Morgan & Co. asumió la centralidad de la red y se crearon algunas comunidades para afianzar el proceso de salvación, pero a su vez los agentes que fracasaron en el proceso de salvamento y se constituyeron en la comunidad de instituciones que cayeron en bancarrota (ver Figura 2.9b)<sup>67</sup>.

Sin embargo, la cantidad de instituciones financieras que colapsaron en 1907 fue menor que la cantidad de instituciones creadas y, para el año siguiente, la cantidad de bancos ya rondaba los 23.000; era un proceso de libre escala que dominaba la evolución del ecosistema. Para 1921, el total de bancos en Estados Unidos alcanzó los 31.076, pero sería el punto de inflexión de la tendencia alcista y se iniciaría una caída de instituciones bancarias en los diferentes estados del país por crisis de solvencia, por la misma crisis de 1929, la definición de leyes federales y estatales, así como la separación entre 1933 y 1934 de los negocios de banca comercial y banca de inversión a través de las leyes Glass-Steagal, Securities Act y Securities Exchange Act. A partir de 1934, este tipo de entidades empezó a fortalecer su estructura de capital y, superada la limitación de la cantidad de oficinas en el país, logró expandir sus actividades hacia otras regiones. Con las crisis y los cambios legislativos algunos agentes se fusionaron o simplemente desaparecieron y al

---

<sup>67</sup> Para una ampliación de este episodio y la influencia de JP Morgan en diferentes asuntos, véase: Chernow (1990) y Strouse (1999).

terminar la Segunda Guerra Mundial, ya eran menos de la mitad de su punto máximo, 14.660 bancos (ver Figura 2.10).



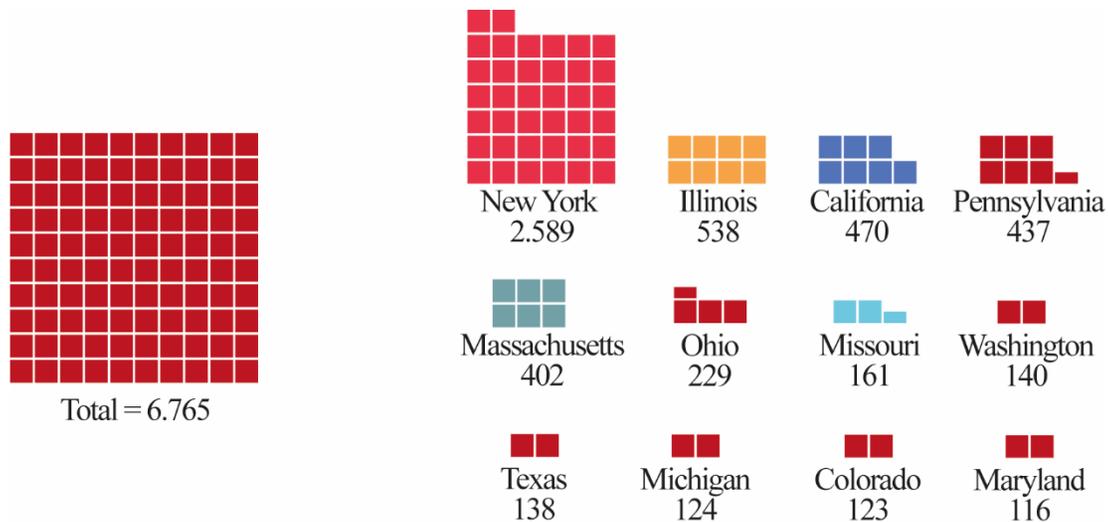
**Figura 2.10. Cantidad de bancos en Estados Unidos, 1896-2018.**

De esta forma, los centros financieros en Estados Unidos se concentraron en Nueva York, Chicago, Boston, Filadelfia, San Luis, San Francisco, Los Ángeles, Baltimore y se expandieron otro tipo de agentes financieros, las firmas de inversión y posteriormente los bancos de inversión. La consolidación del negocio en los centros financieros estadounidenses determinó la concentración de las firmas de inversión, que, durante la década de 1920, serían quienes desarrollarían varios de los negocios de suscripción, emisión y distribución de bonos gubernamentales, soberanos y corporativos, pero también del auge de emisión de acciones y otros activos financieros (White, 2000). Era una transformación de lo que hasta ese momento habían sido los bancos privados, pero ahora, su radio de acción iba más allá de los mercados locales (Figura 2.11). Era el inicio nuevamente de las interacciones entre diferentes ecosistemas locales, dentro del ecosistema

financiero global, pero especialmente en algunas actividades financieras puntuales, ya que los agentes financieros en los ecosistemas locales ganaban terreno.

Es decir, los agentes financieros se integraron cada vez más con los procesos de globalización, en este caso en la primera era de la globalización, la cual hizo más diversos a los ecosistemas locales, pero también permitió que emergiera un ecosistema global. Este ecosistema se amplió y se contrajo a partir de los procesos que se generaron en el contexto y no sería sino hasta la nueva globalización donde se puede establecer una amplia transformación del ecosistema, ya que, durante gran parte del siglo XX, los ecosistemas locales se consolidaron en mayor proporción que el mismo ecosistema financiero global. Muchas de esas contracciones o ampliaciones no se definieron exclusivamente por el contexto político internacional, ya que los agentes financieros no lo distinguen como único eje de la actividad financiera sino como parte de un proceso que requería de adaptación. Pero a su vez, la superposición de los escenarios, así como la dinámica de cada uno de los agentes financieros y su influencia en el grupo de agentes más cercanos, definieron la emergencia de la estructura actual del ecosistema financiero global. No obstante, esta evolución también es analizada desde las transformaciones tecnológicas en el segundo capítulo, ya que estas permiten integrar de manera específica cómo la tecnología influyó en la estructura del ecosistema financiero global.

- *A partir de los ejemplos anteriores, se puede entender la evolución del ecosistema financiero global, mencionaba M.*
- *Así como las estructuras que se han creado a partir de las interacciones de los agentes financieros, pero también las transformaciones que han permitido que emerja un ecosistema cambiante y dinámico, complementaba Ethan el asistente principal de M.*



**Figura 2.11. Firmas de inversión en Estados Unidos, 1929.**

Estados Unidos contaba con más de 6.000 firmas de inversión y los estados con mayor cantidad, reunían el 80% de este tipo de agentes financieros.

En otras palabras, las estructuras de red son el resultado de fenómenos emergentes, los cuales evolucionan continuamente en el tiempo o porque su evolución se presentó en algún momento de su existencia (Karsai, 2019). A continuación, se hace una verificación de algunos elementos que permiten identificar la estructura del ecosistema, pero también patrones para entender cuáles son los elementos que definen la construcción de las redes financieras, los ecosistemas locales y, en sí, el ecosistema financiero global.

El sistema financiero moderno se sustentó inicialmente en las actividades de comercio y en la negociación y financiación de mercancías. Pero, al vincularse el papel moneda como uno de los primeros cambios tecnológicos, las actividades financieras y bancarias se volvieron más ágiles, rápidas y permitieron un mayor número de interacciones. Entonces, los agentes financieros emergieron solo cuando ciertas condiciones se satisficieron y se crearon los mecanismos para intercambiar paquetes de derechos y promesas de propiedad, es decir, este tipo de actividades sólo fue posible en un mundo donde fácilmente pudieron hacer contratos que fueran ejecutables y en el

que los derechos de propiedad fueran respetados, es decir, los agentes financieros necesitaron de instituciones apropiadas para desarrollar su actividad. Así mismo, la madurez de los sistemas legales proporcionó la garantía de seguridad de la propiedad y el crecimiento del comercio de larga distancia (Morrison & Wilhelm, 2007). Sin embargo, aquí existe también una madurez de los esquemas de crédito, en el que los agentes financieros se encargaron de proveer los recursos de corto plazo, respaldados con bienes en proceso o en tránsito, de los empresarios y comerciantes, lo que les permitía asegurar un capital de trabajo.<sup>68</sup>

Esas interacciones dispararon la cantidad de agentes financieros durante el siglo XX, a través de nuevos agentes, pero también de espacios físicos para atender las necesidades de los usuarios. En otras palabras, los cambios en los agentes y los entornos permiten entender que el ecosistema financiero global emerge con una topología dinámica, que facilita definir algunos patrones que se mantienen con el pasar del tiempo, pero que ante una transformación tecnológica puede cambiar rápidamente, así como sucede con cualquier otra transformación de tipo político y económico. A partir de estos elementos se puede ejemplificar unas características propias del ecosistema financiero actual.

El ecosistema financiero local más importante es el sistema financiero de los Estados Unidos, el cual evolucionó desde finales del siglo XIX como un sistema que se ajusta ante cada una de las situaciones propias del contexto, pero a su vez, en el que los agentes financieros evolucionaron para ir más allá de un ecosistema local e incorporarse en un ecosistema global, pero no siempre estableciéndose como una mayor cantidad de agentes financieros sino con agentes de mayor aptitud y tamaño para participar en el ecosistema global.

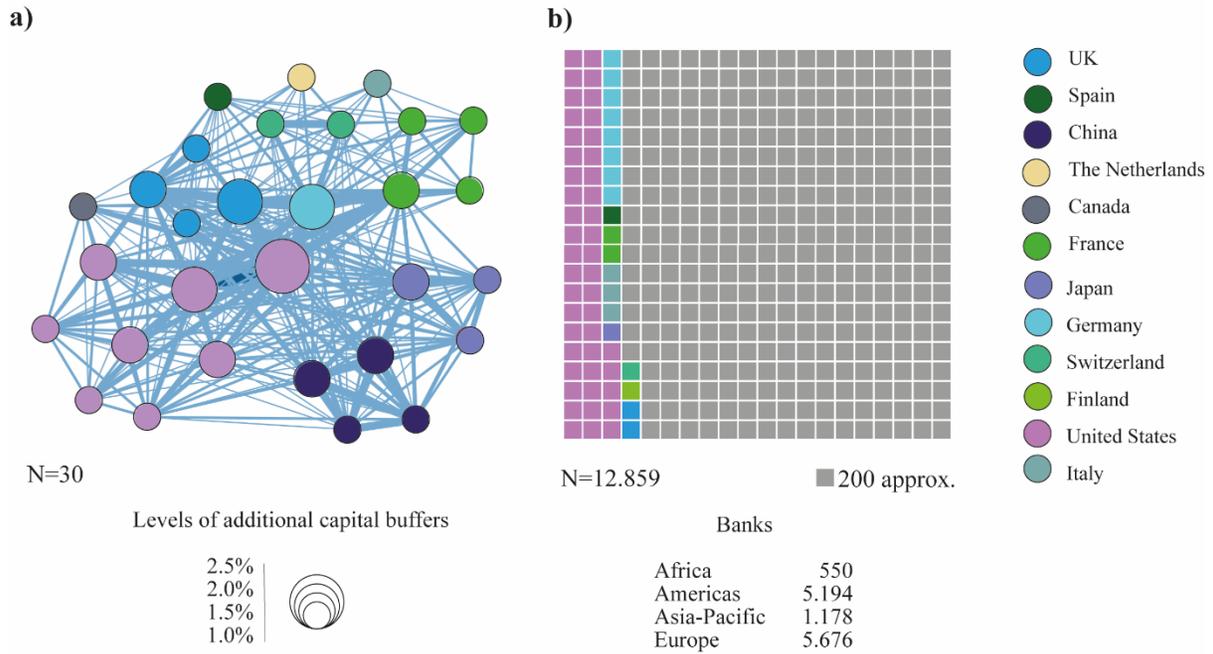
---

<sup>68</sup> Un análisis más detallado de la financiación de corto plazo en la primera parte del siglo XIX, véase: Cameron (1967).

En el siglo XXI, la cantidad de bancos en Estados Unidos es cada vez menor, pero sus niveles de operación, así como su tamaño los hacen agentes financieros cada vez más grandes, pero no necesariamente más robustos. Aunque los ecosistemas locales se han fortalecido, algunos de ellos en países emergentes siguen siendo dominados por bancos (ej.: Colombia, Brasil, Chile, Suráfrica, Malasia), en el proceso de evolución del ecosistema financiero global, varios agentes han realizado otro tipo de actividades financieras que los hacen importantes jugadores dentro del ecosistema como los fondos soberanos, los fondo especializados de inversión y los fondos de cobertura que juegan un nuevo papel dentro de las interacciones entre los agentes. Esto no significa exclusivamente una capacidad física sino una mayor capacidad de capital, información y conocimiento, donde algunos han evolucionado para convertirse en otro tipo de agentes con mayor influencia en el ecosistema.

Varios agentes financieros han ido más allá de sus ecosistemas locales y han definidos sus actividades alrededor del mundo de acuerdo con sus intereses, sus parámetros de aptitud y sus procesos de evolución. Es el caso de la definición de varios centros financieros alrededor del mundo, donde la cantidad de agentes supera el promedio habitual de agentes financieros por habitante, como sucede en el Caribe en países como Turks & Caicos, Curazao, Santa Lucia o las mismas islas Cayman y las Bahamas. Sin embargo, después de la crisis de 2008 y la conformación en 2011 de la Junta de Estabilidad Financiera, se definieron un grupo de bancos como los de mayor importancia dentro de los parámetros establecidos para ser bancos globales sistemáticamente importantes (G-SIB) y a los cuales se les debería prestar mayor atención. Estos treinta bancos son importantes dentro del ecosistema financiero global (Figura 2.12a), pero son una pequeña muestra de la cantidad de bancos en los ecosistemas locales o con menor incidencia en el ecosistema global. Las topologías son diferentes si solamente se analizan los agentes financieros por tipo de mercado,

ya que si se evalúa el mercado global varios bancos no son relevantes en él, pero si en los ecosistemas locales donde se convierte por su tamaño e incidencia dentro del sistema económico local en agentes financieros fundamentales (Figura 2.12).



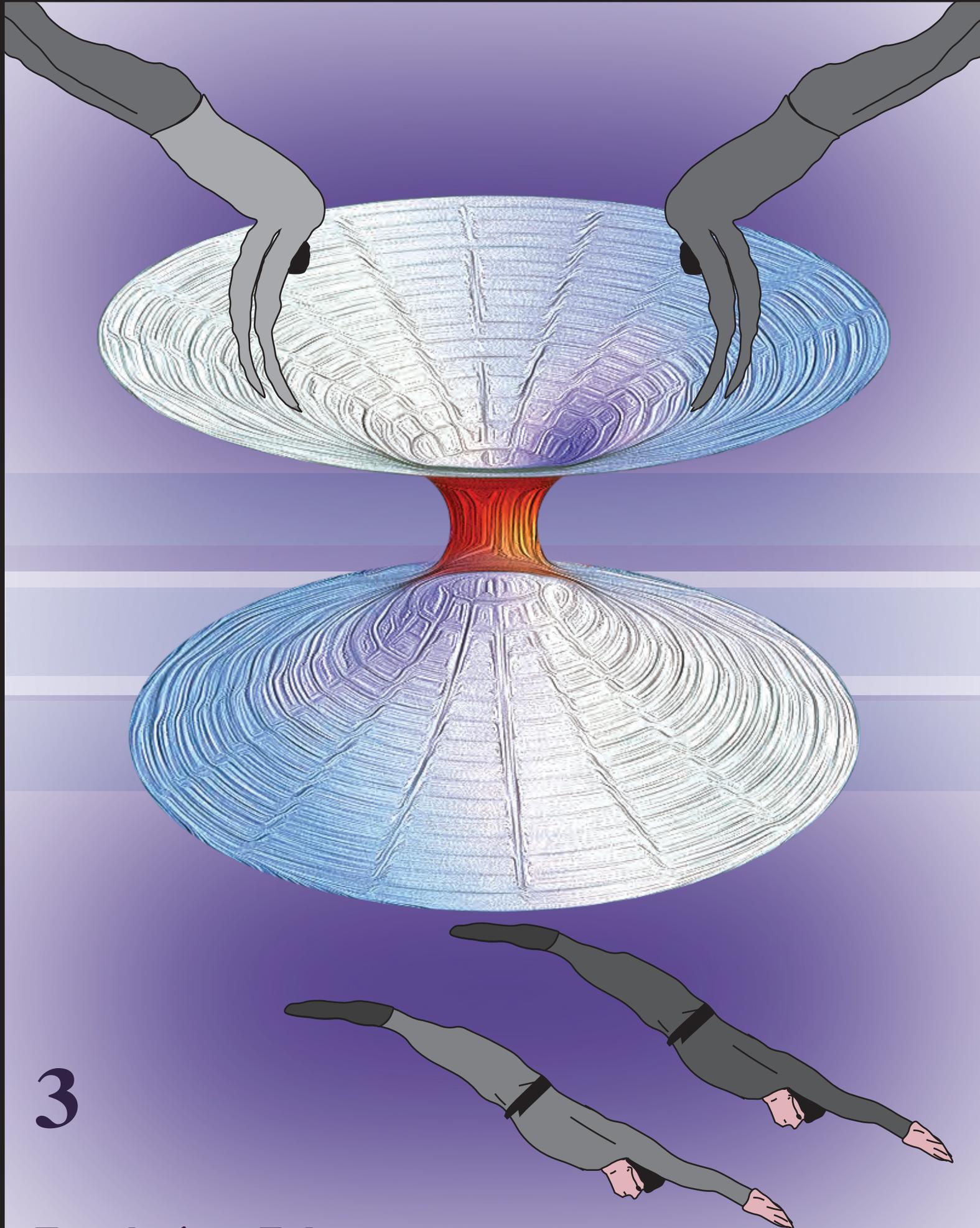
**Figura 2.12. Bancos como agentes financieros en el ecosistema financiero global.**

**a)** Topología de los bancos globales sistemáticamente importantes. **b)** Total bancos en el mundo.

Finalmente, los agentes financieros no son estáticos y la dinámica propia de cada uno de ellos, así como la dinámica que se genera de las interacciones con los demás agentes y de los contextos hacen variar permanentemente estos aspectos. Por esta razón, la evolución de los agentes financieros presenta transformaciones y cambios en el tipo de actividades que realizan y las redes de fondos especializados y fondos de cobertura cada vez avanzan más en el ecosistema financiero global, ya que son ellos los que mayor crecimiento tienen en el número de interacciones con otros agentes financieros, mientras los fondos de capital de riesgo están invirtiendo en compañías que desarrollan transformaciones tecnológicas.

Estos nuevos agentes definen en parte la estructura del ecosistema, pero a su vez construyen redes complejas de interacciones y agentes que van ingresando y saliendo de ellas a partir de sus capacidades de mantenerse ante las eventualidades del contexto y de ellos mismos. De esta forma, la red de fondos de cobertura asciende a más de 800 fondos alrededor del mundo, los fondos de capital privado ascienden a más de 300 con transacciones que superan los 1.7 trillones de dólares para 2018 y los fondos de capital de riesgo, que desde la década de 1960 empezaron a financiar compañías nuevas con posibilidades de crear actividades disruptivas, se convierten en un tipo de agentes que avanzan en el ecosistema con transacciones que superan los 255 mil millones de dólares en 2018 entre más de 500 fondos.

Al incorporar los elementos propios de la evolución de los agentes financieros con los escenarios del contexto, el ecosistema financiero global emerge como un sistema complejo adaptativo que evoluciona constantemente, es una red de libre escala que define sus cambios a partir de las transformaciones políticas, diplomáticas, económicas y sociales, pero a su vez, cómo cada ecosistema va definiendo a los agentes y cómo estos se transforman ante las transiciones que se dan en los diversos escenarios. A partir de esta primera emergencia, el siguiente capítulo se concentra en las transformaciones tecnológicas y su integración al entorno, a los agentes y a la transformación estructural del ecosistema financiero global.



3

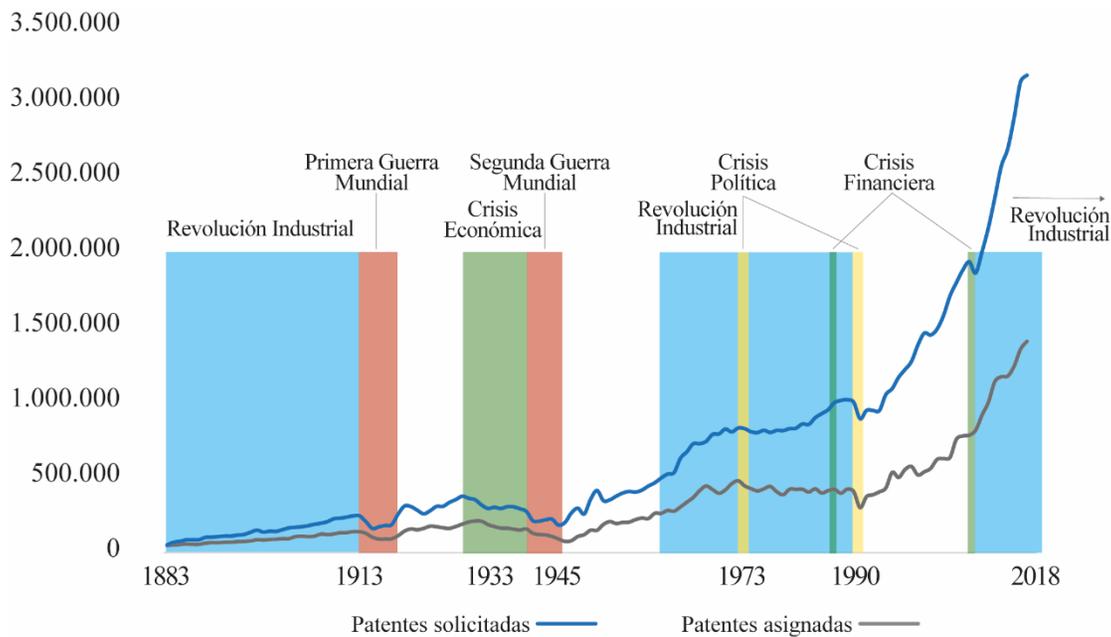
Tecnología en Eukaryote

### **3 Tecnología en Eukaryote**

Cuando el vapor empezó a ser aprovechado como recurso para fortalecer la industria, los procesos de innovación en Eukaryote ya llevaban tiempo y habían generado resultados para diferentes usos y aplicaciones. Los agentes financieros se habían visto enfrentados a nuevas formas de desarrollar sus actividades y cada vez más transformaban su cotidianidad porque los tiempos de interacción eran más cortos. Aunque varios agentes de Eukaryote no lo notaban, las redes de interacciones se hacían más complejas y era necesario visualizarlas para dimensionar el cambio. Entonces, durante la competencia industrial de finales del siglo XVIII hasta el final del siglo XX, la definición de patentes e inventos superó en ocasiones el crecimiento de la economía global. Aunque varios de estos procesos de invención e innovación terminaron en usos diferentes, si definieron transformaciones en el ecosistema financiero global, ya que varios fueron usados en los asuntos políticos, diplomáticos y económicos y, a su vez, se trasladaron en los demás procesos de transformación que se presentaron en el ecosistema.

No obstante, el crecimiento en el registro de patentes fue parte fundamental en las transformaciones tecnológicas y los impactos que algunas de ellas tendrían posteriormente en el ecosistema. La evolución de las patentes solicitadas y asignadas se convirtieron en la mejor aproximación para entender las transformaciones tecnológicas, aunque en el largo plazo la tendencia fue alcista, hubo momentos que transformaron esa evolución y que se convirtieron en elementos fundamentales para explicar las transformaciones políticas, diplomáticas y económicas. Para 1883, el número de patentes solicitadas bordeaba las 50.000 patentes anuales y las asignadas se aproximaban al 97% de las solicitadas, con el tiempo se distanció ese proceso y en promedio se mantuvo entre el 50% y el 60% (Figura 3.1).

Es así como, durante la segunda revolución industrial, Estados Unidos se convirtió en el mayor solicitante de patentes, pero con la salvedad de que varias patentes extranjeras eran registradas en este país. Para 1883, Gran Bretaña registró aproximadamente el 34%, seguido de Alemania y Francia con el 18% y el 14% respectivamente (Pavitt & Soete, 1980). Antes de iniciar la Gran Guerra, Alemania registró el 34% contra 23% de Gran Bretaña y 8% de Francia, es decir, el avance tecnológico de Alemania permitió identificar el incremento de su participación al interior de Estados Unidos, pero también la confiabilidad de desarrollarla en el principal mercado para ese período. Sin embargo, los beneficios futuros de los cambios tecnológicos que se daban en esa época eran insospechados (Mokyr, 2002), así como sucede actualmente, donde los procesos de invención e innovación están sujetos a su capacidad de transformar, complementar u optimizar una actividad o un proceso, que serán o no adoptados por los agentes.



**Figura 3.1. Evolución de patentes solicitadas versus patentes asignadas 1883-2018.**

Desde el año 1982, las patentes asignadas frente a las solicitadas están por debajo del 50% (ver Figura 3.1), pero su tasa de crecimiento se triplicó. Entrado el siglo XXI, ya interactúan varios agentes económicos de otros países que hasta hace algunos años no eran relevantes en la generación de patentes como China e India.

Los procesos de innovación, exitosos o no, impactaron en el crecimiento económico, así como en la posterior aceleración tecnológica que disfrutaron países como Estados Unidos, Japón, Francia, Alemania, Gran Bretaña y algunos países nórdicos durante gran parte del siglo XX<sup>69</sup>. Es decir, la innovación logró desarrollar varias transformaciones tecnológicas, que definieron las fases de las transiciones tecnológicas, así como la adopción por los agentes financieros y, a su vez, los procesos de adaptación que fueron necesarios para integrar los cambios tecnológicos en sus actividades.

Entonces, ¿cómo el estudio de la llegada de la tecnología a Eukaryote y su integración con las redes de agentes permite identificar la evolución del ecosistema financiero global? Para entender los procesos de transformación, transición y difusión de la tecnología, es necesario revisar las temporalidades en unidades de tiempo cada vez más pequeñas, ya que la tecnología trae consigo una mayor aceleración de los procesos. A partir de esto, en una primera sección se define cómo las transformaciones tecnológicas se pueden integrar como una red o un sistema a partir de cómo es el proceso tecnológico; en una siguiente sección se analizan como han avanzado las transformaciones tecnológicas en el ecosistema financiero global, concentrándose en aquellas que han incrementado las interacciones y han reducido los tiempos de operación, es decir, transformando la temporalidad como el telégrafo, el teléfono, el computador e internet. En una tercera sección se define la difusión tecnológica y la adopción y adaptación de los agentes

---

<sup>69</sup> Para una ampliación en detalle de los avances tecnológicos y el desempeño económico de estos países durante el siglo XX, véase: Estados Unidos (Gordon, 2002); Japón (Posen, 2002); Alemania (Siebert & Stolpe, 2002); Gran Bretaña (Nickell & Van Reenen, 2002) y Francia (Messerlin, 2002).

financieros, para que en la siguiente sección se analicen las transiciones de fase de un régimen tecnológico al otro. Finalmente, se integran las transiciones tecnológicas que definen su dinámica a partir de la topología de la red de agentes financieros y también de la geometría de las redes antes cambios no fácilmente visibles.

### **3.1 Transformación como una conexión**

Las transformaciones tecnológicas son procesos que vinculan los diferentes elementos de un sistema, ya que estas no son procesos aislados e individuales, sino que pueden ser vistos como sistemas sectoriales de innovación, sistemas tecnológicos o sistemas sociales involucradas en la innovación. Esta sección tiene por objetivo identificar algunas aproximaciones de lo que son las transformaciones tecnológicas vistas como una red de interacciones, las cuales se integran con las redes financieras creando un ecosistema financiero tecnológico global. Para acoplar las siguientes aproximaciones teóricas es necesario tener presente lo argumentado en el capítulo anterior, que los agentes financieros interactúan en diferentes sistemas, se integran con los sistemas de invención, investigación e innovación y como emergen como nuevos sistemas en sí mismos a partir de su dinámica y temporalidad de sus transformaciones y transiciones. Pero también impactando a los otros sistemas que en ocasiones pueden justificarse como estructuras jerárquicas pero que realmente son sistemas que interactúan con otros, ya que de aquí surgen nuevas actividades o formas de realizar las actividades anteriores que presionan a su transformación a los sistemas culturales, políticos y económicos y, en general, al sistema social.

Son varias las aproximaciones que se pueden establecer para identificar las transformaciones tecnológicas y su integración en el ecosistema financiero global, pero ¿cómo el sistema tecnológico interactúa con el sistema financiero? Antes de responder esta pregunta es necesario entender en sí como es el proceso tecnológico. Una primera aproximación proviene de los estudios de la ciencia

y la tecnología (STS) y la historia de la ciencia y la tecnología conocida como teoría de los grandes sistemas técnicos. Esta propuesta establece que un tipo particular de tecnología consiste en tecnologías interrelacionadas (Geels, 2005), es decir, en un sistema y una red que interactúa. Pero así mismo, no solamente es la interacción de las tecnologías sino también de la integración con la población, las empresas que directa e indirectamente participan en los procesos de innovación con su capacidad de atraer inversionistas o patrocinadores, las actividades académicas y de investigación, así como la legislación y los procesos regulatorios (Hughes, 1987).

La teoría de los grandes sistemas técnicos distingue cinco fases que se traslapan, ya que la invención, el desarrollo, la innovación, el crecimiento y la consolidación culminan satisfactoriamente con el *momentum*. Esta fase se define como la integración profunda del sistema tecnológico en la sociedad y claramente con el peso que van a generar las interacciones bajo ese nuevo régimen tecnológico, debido a que hay tecnologías como el teléfono, el computador e internet que su *momentum* se puede extender largamente, pero sus procesos de profundización se vuelven parte de la cotidianidad y, en ocasiones, se percibe como si se debilitaran, pero lo que han logrado es estabilizarse provisionalmente o entrar en un proceso potencial de transformación. Entonces, la transformación tecnológica no es un proceso lineal sino un proceso que se articula con otros procesos, no necesariamente tecnológicos, que coevolucionan (Bar-Yam, 1997; Joerges, 1996; Ewertsson & Ingelstam, 2005).

En otras palabras, la coevolución permite la consolidación de los sistemas tecnológicos, pero en ocasiones su dinámica no puede ser vista exclusivamente como un proceso entre pares, sino que surge como la interacción de agentes y sistemas que a su interior también tienen una diversidad en su forma de interactuar y comportarse. Esta diversidad puede generar interacciones simultáneamente pero también fundamentar jerarquías que van cambiando acorde cómo

evoluciona y se adapta el sistema tecnológico, es establecer a la tecnología como una red que se adapta, coopera y genera cambios topológicos (Allen P. , 2001; Pacheco, Traulsen, & Nowak, 2006; Zschaler, Traulsen, & Gross, 2010; Van Segbroeck, Santos, Lenaerts, & Pacheco, 2011; Sayama, et al., 2013), los cuales emergen de interacciones endógenas al sistema que se autoorganizan pero también de la capacidad de adaptación y aprendizaje con las interacciones externas (Arrow, 1962; Romer, 1990).

Aquí se puede integrar la transformación tecnológica desde el punto de vista matemático y físico como una red que se adapta con la visión social de la tecnología que también se argumenta como una red (Latour, 2005; 2011). En esta red interactúan una serie de agentes heterogéneos, quienes a su vez se integran con los lugares donde se hace la tecnología, es decir, laboratorios, institutos, departamentos gubernamentales, juntas directivas empresariales y agencias de financiación. En otras palabras, se deja atrás la visión de la tecnología como un resultado macro y se logra identificar los microsistemas que desarrollan la tecnología (Cressman, 2009). De forma complementaria se integran las interacciones entre agentes humanos y no humanos como actores dentro de la red, que facilitan la difusión de la tecnología a través de procesos de simbiosis entre diferentes sistemas tecnológicos (Latour, 1994). La difusión es un elemento fundamental a través de las redes, pero los teóricos del Actor Red (ANT) no logran precisar el proceso de la difusión de la tecnología, por esto es necesario integrar los conceptos de coevolución nuevamente para identificar la transformación tecnológica como una red, como un sistema.

Hablar de la transformación tecnológica como un sistema que coevoluciona, es cuando las fronteras entre los elementos que la conforman no son claras y, adicionalmente, se combinan con los agentes (Geels, 2005). Por eso las transformaciones tecnológicas surgen como la combinación de los cambios políticos, económicos y culturales, los cuales no son homogéneos y, a su vez, de la

interacción de diversos grupos sociales. Entonces, las transformaciones tecnológicas que impactan el ecosistema financiero global se retroalimentan del uso que le dan a la tecnología los agentes financieros y de cómo los usuarios de los agentes financieros y otros agentes no financieros que interactúan con ellos también evolucionan con la adopción de la tecnología. En otras palabras, la transformación tecnológica no simplemente llega al ecosistema, sino que los usuarios al adoptarla ayudan a su adaptación y estabilización, es decir, se convierte en un proceso social de integración (Schot & De la Bruheze, 2003; Kanger, Geels, Sovacool, & Schot, 2019).

Las transformaciones que llegan al ecosistema financiero global ya han interactuado con una red de agentes heterogéneos y se nutre también de los procesos que se dan al interior del ecosistema con los agentes financieros, es decir, el ecosistema financiero global también se convierte en parte de un ecosistema de innovación que permite que la tecnología coevolucione con sus necesidades y defina ciertas reglas que faciliten el uso de la tecnología y, por ende, su difusión (Spar, 2001; 2003). En otras palabras, el ecosistema financiero se convierte en una red que agrupa diferentes comunidades donde interactúan de forma diversa con agentes heterogéneos y, a su vez, crean comunidades tecnológicas que van direccionando nuevos procesos que pueden ser adoptados o no por los agentes financieros y no financieros.

Las transformaciones han evolucionado y, muchas de ellas que en un momento fueron procesos aislados, hoy se convierten en una red de interacciones integrada por la academia, los gobiernos y las empresas. Entonces, no son procesos aislados y hechos exclusivamente por un grupo de agentes, sino que surgen de la coevolución de múltiples tecnologías que hace que el ecosistema financiero se vincule a un proceso en el que se cambia la visión del tiempo y en las que las interacciones entre los agentes financieros son habituales en unidades de tiempo más pequeñas.

No obstante, el proceso tecnológico y los regímenes por donde el ecosistema financiero global ha evolucionado requieren de una precisión que se escapa a esta investigación.

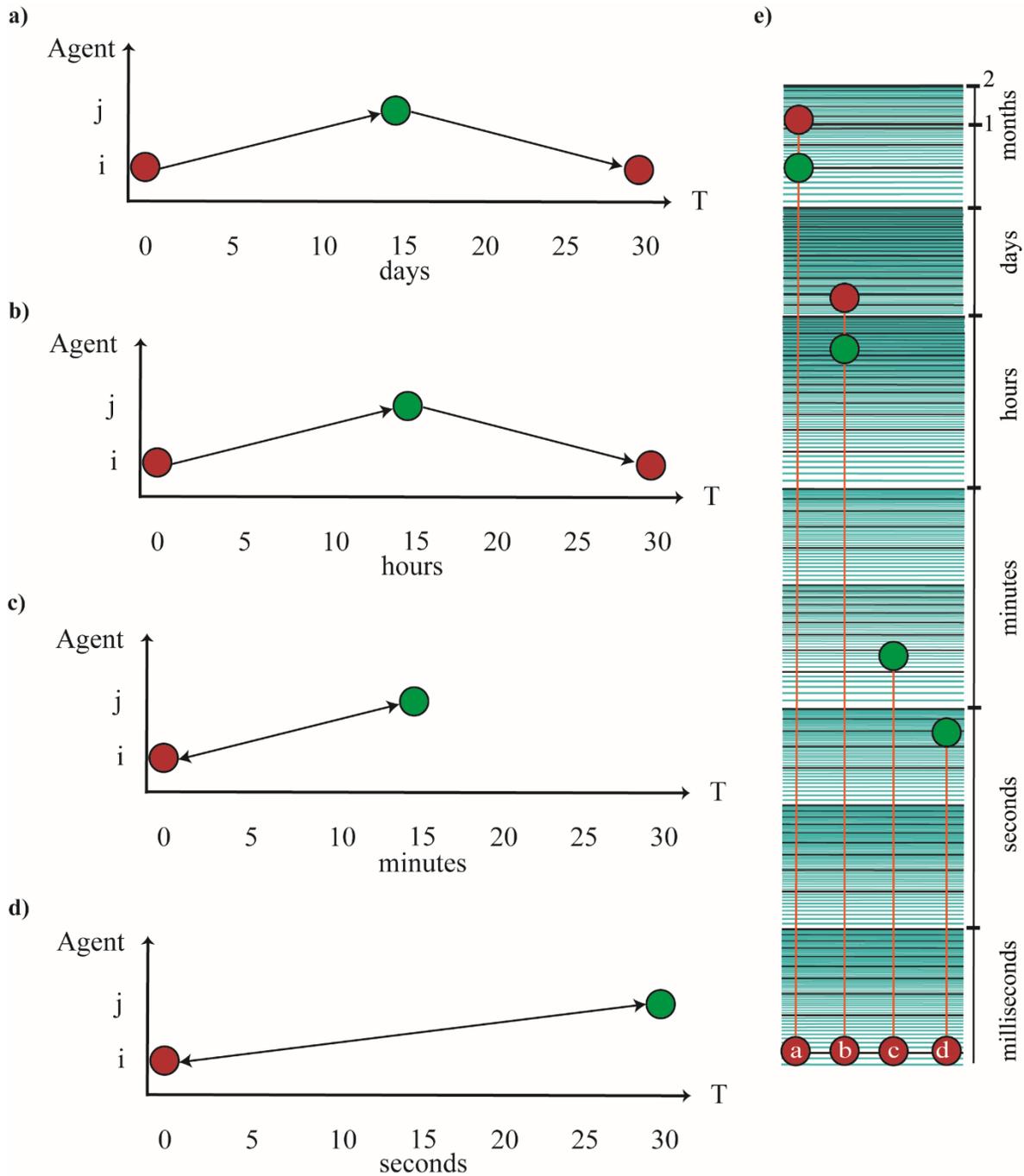
En la siguiente sección se analizan algunas transformaciones tecnológicas relevantes al interior del ecosistema financiero y se abre la puerta para entender que los cambios que se avecinan serán más frecuentes y su influencia al interior del ecosistema hará que las interacciones reduzcan su temporalidad y por ende los cambios no sean tan visibles como lo fueron en la transición del régimen del telégrafo al teléfono. Es decir, estos cambios tecnológicos requieren de otras metodologías que analicen las variaciones que se presentarán en la interacción de los agentes en microtiempos.

### **3.2 Viajando en las escalas de tiempo**

Habitualmente la tecnología que se integra en las finanzas son resultados que surgen de sistemas complejos de innovación, es decir, no surgen de un proceso individual, sino que requiere de un proceso desarrollado indistintamente por diferentes firmas ajenas a la actividad financiera, así como por procesos de investigación académica. No obstante, las adopciones de esas innovaciones se han visto como mejoramientos en la productividad de los agentes financieros, la cual es difícil de cuantificar y visualizar, porque los avances van más allá de los mejoramientos visibles de los artefactos físicos (Calomiris, 2002). En esta sección se establece como ingresaron el telégrafo, el teléfono e internet en las actividades financieras y, a través de la visualización, poder cuantificar como se avanzó en la actividad financiera como resultado de estas tecnologías.

La tecnología ha incrementado el volumen de interacciones entre los agentes financieros, pero muchas veces esos incrementos no son percibidos fácilmente, lo que requiere entender qué tan drásticas han sido las transformaciones tecnológicas y por qué en ocasiones se superponen. Es

necesario, entonces, una revisión de la estructura de las redes financieras y en qué momento puede presentarse cambios que con el tiempo generan variaciones en la topología de las redes.



**Figura 3.2. Interacciones entre agentes financieros con cambios tecnológicos.**

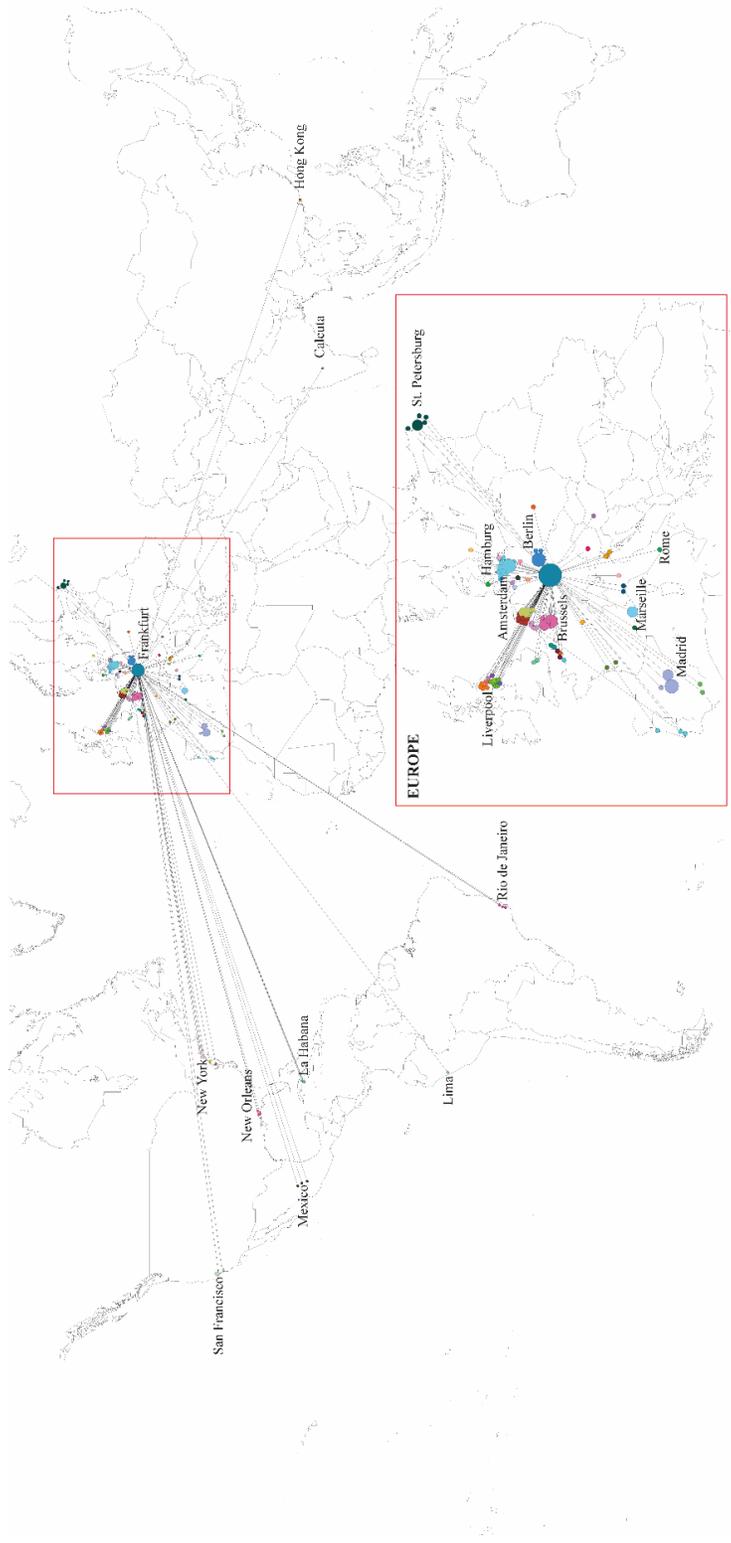
**a)** Interacciones a través de carta ( $T=$  días). **b)** Interacciones a través de telégrafo ( $T=$  horas). **c)** Interacciones a través de teléfono ( $T=$  minutos). **d)** Interacciones a través de correo electrónico ( $T=$  segundos). **e)** Comparativo de interacciones en una escala temporal logarítmica.

Durante el periodo de la carta, las interacciones entre los agentes financieros tomaban más tiempo, ya que en un primer momento el agente financiero enviaba su carta y el otro agente financiero la recibía después de un tiempo, dependiendo de la distancia del recorrido (ver Figura 3.2a). Es decir, la interacción entre los agentes estaba en función de la distancia entre ellos y el tiempo en que se demoraba en recorrer esa distancia quien transportaba la carta<sup>70</sup>. Adicionalmente, el agente financiero que la recibía se tomaba el tiempo para escribir la respuesta y, nuevamente, el tiempo que tomaba a la carta en llegar al agente financiero que había iniciado la interacción. Aquí indirectamente influía el medio de transporte y la posibilidad de llevarlo a distancias cada vez más largas. Por ejemplo, pasar de los barcos impulsados por las velas a los barcos impulsados por vapor cambió considerablemente los tiempos para recorrer las mismas distancias siempre y cuando se mantuviera el avance en la tecnología naval. Se pasó de implementar esta tecnología en viajes cortos entre Glasgow y Belfast o Venecia y Trieste en 1818 a viajes trasatlánticos entre Nueva York y Londres veinte años después (Broeze, 1982). Esto se convirtió en una herramienta que facilitó el impulso y el crecimiento de los negocios financieros y, por ende, de las redes de corresponsales que tenían los principales agentes financieros del siglo XIX como Rothschild (ver Figura 3.3).

Las transformaciones tecnológicas, al igual que los cambios políticos y económicos, establecen cambios en las redes, definen dinámicas y emergen propiedades, pero sus temporalidades varían y ahí es donde es necesario identificar los elementos propios de las redes temporales que complementan lo mencionado en el capítulo anterior sobre las redes dinámicas y de libre escala.

---

<sup>70</sup> En la Figura 3.2a se hace referencia a la distancia entre Londres y Nueva York en barco a vapor durante la década de 1850. En esta década se hicieron varios ajustes e innovaciones que permitieron mejorar el desempeño de la tecnología de los barcos a vapor, véase: Gilfillan (1935) y Dirkzwager (1993).



**Figura 3.3. Red de corresponsales de Rothschild durante el siglo XIX**

Fuente: Elaborado con información de M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business, Correspondence Department, Series Major Correspondents XI/38. The Rothschild Archive, London.

En otras palabras, las redes entre un estado inicial y un estado final pueden presentar unas características estructurales que no se perciben fácilmente y, además, se pueden perder características como la heterogeneidad del grado que surge a partir de algunos mecanismos como la conexión preferencial que impulsan la dinámica de interacción en una red (Barabási & Albert, 1999). Al incluir las redes temporales se logra precisar la dinámica de la red y, cada vez que la tecnología va avanzando, se pueden identificar los tipos de interacciones recurrentes o únicos entre los agentes financieros y entre cualquier agente de una red (Holme & Saramäki, 2012; 2013; Holme, 2015; Laurent, Saramäki, & Karsai, 2015), lo que conduce a que emerjan propiedades heterogéneas cuando se agregan las diferentes temporalidades.

Con la aceleración de la tecnología, la temporalidad cambia drásticamente y la agregación presenta cambios con mayor frecuencia (ver Figura 3.2d), es decir, al incorporarse en una red agregada, las frecuencias de interacción definen el peso de los vínculos (Krings, Karsai, Bernhardsson, Blondel, & Saramäki, 2012). Los procesos presentados en la Figura 3.2d son muy diferentes a los procesos de interacción que se daban con la carta y el telégrafo (Figura 3.2b) donde los cambios eran lentos y estaban definidos por las características y formas de interactuar de los agentes financieros, así como por la tecnología que soportaba el proceso de comunicación, ya que los avances del telégrafo no fueron constantes, sufrieron altibajos, fueron desarrollados indistintamente por diferentes tipos de científicos en diversos lugares y su aporte en ocasiones quedó habilitado por las tecnologías conexas y necesarias para su funcionamiento (Harlow, 1936; Thompson, 1947; Winston, 1998).

Entonces, ¿la tecnología influye en la temporalidad de las redes financieras? El tiempo asume un rol fundamental en aquellas interacciones entre los agentes financieros, las cuales empiezan a crecer en mayor medida con las transformaciones tecnológicas; por esta razón, el tiempo puede convertirse en otro factor que define la topología de las redes y, si los cambios son pequeños, puede

definir la geometría de estas. Es decir, algunas propiedades se vuelven dependientes del tiempo (Kivelä, Cambe, Saramäki, & Karsai, 2018; Zhao, Karsai, & Bianconi, 2011) y puede identificarse cómo una red que evoluciona dinámicamente en varias escalas temporales (Ribeiro, Perra, & Baronchelli, 2013). Esa temporalidad variará hacia unidades de tiempo más cortas con la transformación y la convergencia tecnológica, así como con los avances de la inteligencia artificial (ver sección 4.3) y su sinapsis con la inteligencia natural. Es decir, las redes financieras evolucionaran en unidades de tiempo menores de lo que habitualmente los agentes humanos pueden observar (ver Figura 3.2e).

Cuando se introdujo el teléfono, las interacciones entre los agentes financieros ganaron en facilidad y la distancia, paulatinamente, dejó de ser un elemento que influía en la definición de la interacción siempre y cuando existiera la infraestructura para hacerlo. También, facilitó para que los agentes financieros empezaran a ampliar su propia red de oficinas y reducir la interacción con agentes corresponsales. En otras palabras, abrió la oportunidad para que los agentes financieros pudiesen ir más allá de su región, algo similar al planteamiento del capítulo anterior, con la salvedad, que aquí la expansión de los agentes financieros se dio como resultado de una transformación tecnológica que se sumó a los avances económicos. También a los avances regulatorios que se registraban como una transformación político-económica, es decir, las transformaciones tecnológicas se traslaparon con las demás transformaciones, pero el teléfono se convirtió en una herramienta para que cada vez fuese más fácil lograr las interacciones entre los agentes financieros y se convirtiera en un proceso sincrónico (Ver Figura 3.2c).

No obstante, el teléfono aprovechó parte de la infraestructura del telégrafo, especialmente, aquella que permitía la comunicación internacional (el cableado submarino), la cual facilitó la evolución del ecosistema financiero global. Utilizando varios de los conceptos del telégrafo, el teléfono fue

el progreso de un dispositivo electromagnético que convirtió las ondas eléctricas en sonido por primera vez en 1837, hasta el cambio a dispositivos que ofrecían impulsos análogos eléctricos de ondas de sonido pero que requerían una comprensión de los sonidos de la voz humana y costos menos elevados para lograr la masificación de lo que hasta ese momento eran prototipos de teléfonos (Winston, 1998).

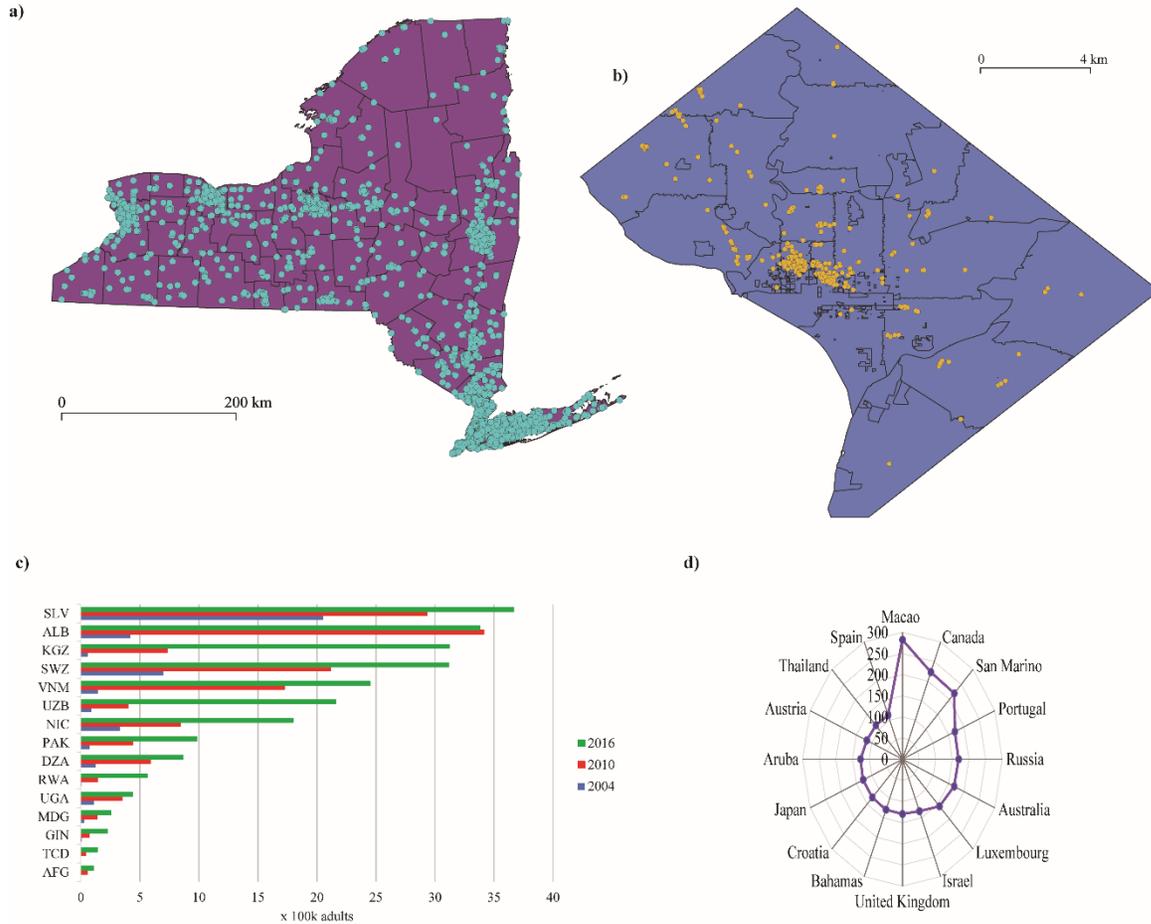
Aunque lo que impulsó el teléfono más allá de los procesos tecnológicos, fue la salida de las empresas de las casas de los empresarios, creando las edificaciones para albergar a las empresas (Mumford, 1961), que requirieron una nueva serie de tecnologías y dispositivos que les facilitaran los negocios. Por esta razón, la construcción de edificios de oficinas y la oportunidad de contar con un teléfono, hizo que los negocios de los agentes financieros se incrementaran no sólo por su capacidad de desarrollarlos sino también por el prestigio de contar con un edificio de oficinas. En otras palabras, con las transformaciones tecnológicas se fusionaban aspectos sociales, culturales y económicos, y esta fue una de las razones para impulsar la infraestructura, ya que el primer cableado telefónico erigido de forma particular fue en 1877 por Charles Williams para conectar su casa con su fábrica (Stehman, 1925) y así, sucesivamente, fueron avanzando otros procesos privados que lograron consolidar la tecnología, hasta que se convirtió en un proceso público, en el que el desarrollo de la infraestructura quedó en cabeza de los gobiernos o de inversiones privadas, pero siempre como una herramienta de negocios, ya que su penetración masiva, especialmente en los hogares, se dio después de la Segunda Guerra Mundial (Carey & Moss, 1985).

Algo similar ocurrió con el computador, el cual se masificó muchos años después de su lanzamiento y en primera instancia fue usado por las empresas y, casi cuarenta años más tarde estaría en los hogares de países desarrollados y en algunos en vías de desarrollo. En ese momento se inició la convergencia con otras tecnologías que lanzaron nuevos cambios en la forma de

interactuar entre los agentes financieros. Con la llegada de internet se fusionaron tres tecnologías que permitieron el avance de esta tecnología como fue la infraestructura de telecomunicaciones, el desarrollo del hardware, especialmente, el computador, así como los protocolos de comunicación e interacción de redes que fueron surgiendo con el avance del software. Estos avances permitieron compartir los recursos computacionales desde la década de 1970 como fue la propuesta de Cerf & Kahn (1974), la cual diseñó el protocolo de control de transmisión conocido como TCP que impulsó la transmisión de información entre las redes de computadores. En otras palabras y como lo argumentan Mowery & Simcoe (2002), lograr la red de computadores más grande del mundo fue un proceso en el que se articularon varias innovaciones desde la computación y las telecomunicaciones hasta la regulación de los servicios públicos, los negocios y las finanzas. Estas innovaciones que se mezclaron con transformaciones políticas y económicas permitieron poco a poco el acceso de nuevos usuarios, los cuales posteriormente crecieron exponencialmente, es decir, esta articulación tecnológica, económica y política cambió la forma de como los agentes humanos, las instituciones y los agentes financieros usaban los computadores, lo cual se amplió en una variedad de posibilidades e impulsó a los agentes financieros a desarrollar sus actividades en cualquier lugar del mundo con acceso a internet y comunicarse electrónicamente (ver Figura 3.2d).

La masificación de internet logró una expansión de las oficinas de atención porque se facilitaron los protocolos de comunicación de las redes, las cuales habitualmente habían sido cerrados y con infraestructuras muy costosas, también de las redes de cajeros automáticos y de los sistemas transaccionales, especialmente plataformas de negociación, entre agentes financieros. Entonces, se hizo más asequible la forma de negociación, permitiendo que varios bancos globales pudieran consolidar sus actividades y no solamente fuera un proceso de capacidad financiera, es decir, varios

agentes financieros fueron escalando en el escenario global porque la tecnología se combinó fácilmente con su capacidad financiera mientras otros se fueron rezagando en ese proceso por lo costoso que en ocasiones era la adopción y adaptación a la tecnología.



**Figura 3.4. Análisis de cajeros automáticos (ATM).**

**a)** Cajeros en el Estado de Nueva York 2019. **b)** Cajeros en la ciudad de Washington. **c)** Evolución de cajeros en países de ingresos medios y bajos. **d)** Países con mayor número de cajeros.

Fuente: Elaborado con datos de World Bank (2019), State of New York(2019), Open Data DC (2020).

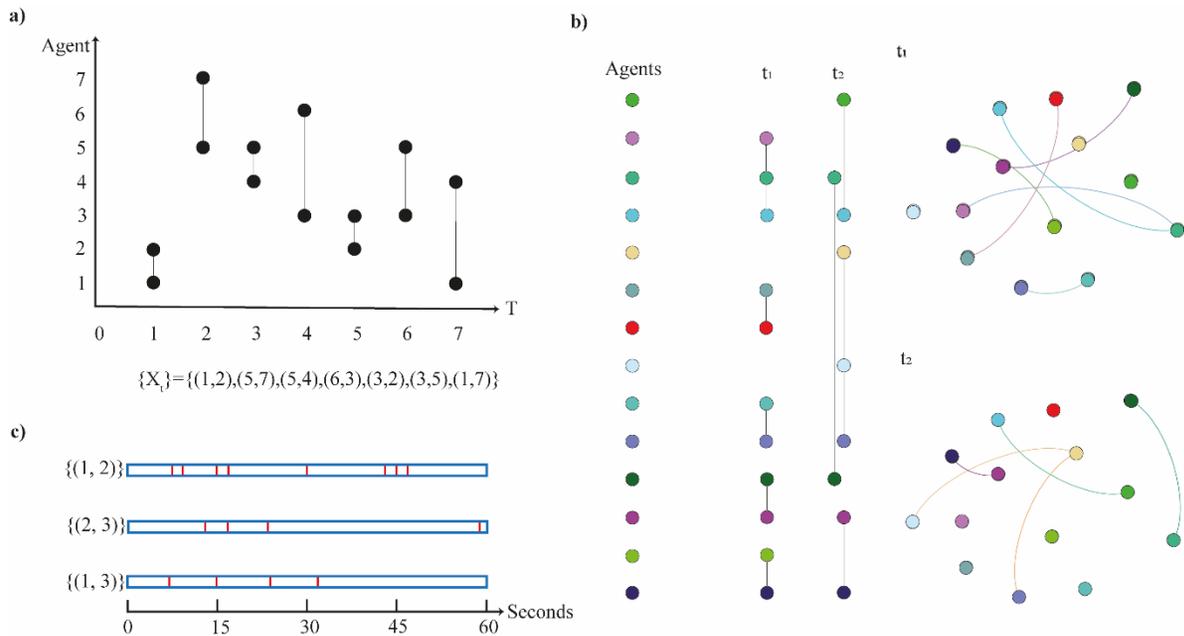
El negocio financiero amplió sus posibilidades no solamente en los mercados desarrollados o en regiones ricas como el estado de Nueva York en Estados Unidos (ver Figura 3.4a) o la ciudad de Washington (ver Figura 3.4b) sino que varios agentes financieros desplazaron su capacidad tecnológica y económica para facilitar la inclusión financiera de grupos poblaciones en países de

ingresos bajos y medios, como fue la ampliación de las redes de cajeros en Afghanistan (AFG), Chad (TCD), Guinea (GIN), Madagascar (MDG), Uganda (UGA), Rwanda (RWA), Algeria (DZA), Pakistan (PAK), Nicaragua (NIC), Uzbekistan (UZB), Vietnam (VNM), Swaziland (SWZ), Kyrgyzstan (KGZ), Albania (ALB), El Salvador (SLV) entre otros países que atienden un mayor número de población adulta (ver Figura 3.4c), pero aún lejos de los países con que cuentan con mayor capacidad de medios tecnológicos (ver Figura 3.4d). Es decir, se logró que un mayor grupo de agentes humanos pudieran interactuar con otros agentes humanos en las oficinas de atención tradicional y que también interactuaran con agentes no humanos como los cajeros automáticos. Proceso que facilitó las actividades financieras de la población e incrementó el número de interacciones.

Por otro lado, los agentes financieros globales ampliaron sus centros de negociación alrededor del mundo, en el que internet mostró toda su capacidad de transformar la expansión de la información y convertirla en un proceso de conocimiento (Mowery & Simcoe, 2002). Este proceso fundamentó la construcción de redes que facilitó el desarrollo de nuevas actividades financieras y no solamente procesos que agilizaron la interacción entre agentes financieros.

Es así como, la temporalidad fue cambiando en la medida en que la tecnología transformaba las actividades financieras e hizo que estas fueran cada vez más frecuentes entre los agentes financieros. Entonces, como sistema dinámico y complejo tiene ritmos inherentes que provienen del propio sistema, que en ocasiones pueden ser impuestos por eventos externos y en el que se pueden generar patrones que se define en diferentes escalas o que tenga lugar en su propia unidad de tiempo (Holme, 2015; Krings, Karsai, Bernhardsson, Blondel, & Saramäki, 2012). Para entender los procesos de transformación, transición y difusión de la tecnología y, en especial de las tecnologías que se están desarrollando y se desarrollaran bajo la sombrilla de la inteligencia

artificial, es necesario entender las temporalidades en unidades de tiempo más pequeñas. De esta manera, una red temporal se establece como  $G_t = (N, E_t, T)$  definido por un grupo de agentes  $i \in N$  y vínculos definidos como un conjunto de eventos  $E_t \subset N \times N \times [0, T]$  durante un período de tiempo  $T$ . Es decir, una red temporal se describe como una secuencia de eventos entre los agentes  $i$  y  $j$  en el tiempo  $t \in [0, T]$ , tiempo que puede definirse en diferentes ventanas debido a que las interacciones no están continuamente activas, es decir, pueden representarse tanto en tiempo continuo como discreto (Caceres & Berger-Wolf, 2013; Karsai, 2019).



**Figura 3.5. Redes temporales**

Entonces, los agentes financieros empiezan a interactuar con mayor frecuencia cuando las transformaciones tecnológicas se lo permiten, siempre y cuando hayan adoptado y se hayan adaptado a la tecnología, es decir, sus interacciones se logran como componentes de una cadena de Márkov  $X_t = (i, j)_t$ , donde  $i$  y  $j$  son los puntos finales de la interacción en el tiempo  $t$  (Figura

3.5a). No obstante, si dos agentes están conectados en el tiempo  $t$ , existe una probabilidad no despreciable de que aún estarán conectados en el momento  $t + \Delta t$  (Figura 3.5b).

De esta forma, se establece una persistencia que puede medir la frecuencia con que dos agentes financieros interactúan, argumento que puede ser aplicado en cualquiera de los procesos que se dieron en alguna de las transformaciones tecnológicas analizadas (ver Figura 3.5c) y que se integra con el concepto de aptitud (fitness) que se desarrolla en la sección 5.3.<sup>71</sup>

Esta persistencia se puede ver reducida o interrumpida cuando el agente financiero no tiene la capacidad para desarrollar su actividad como el caso del Banco Baring en las crisis de 1890 y 1995 (Bordo & James, 2014; Campbell, Coyle, & Turner, 2016; Körnert, 2003), de Long Term Capital Management (LTCM) en 1998 (Edwards, 1999) o de Lehman Brothers en 2008 (McDonald & Robinson, 2009; Sorkin, 2009); pero también por no haber logrado adoptar una tecnología que facilite el desarrollo de las interacciones financieras cuando algunos bancos ya la han adoptado o adaptarse a los cambios tecnológicos. Aunque estos cambios pueden ser momentáneos, esto implica que los agentes financieros tendrán que acelerar sus inversiones en tecnología para que “temporalmente” no queden por fuera de las interacciones dentro del ecosistema financiero global. En la siguiente sección se analiza la adopción y adaptación de los agentes ante la difusión de nuevas tecnologías y como estos se pueden rezagar o alejar del núcleo del ecosistema o como otros a través de la adopción y adaptación de la tecnología logran incorporarse en el núcleo del ecosistema.

---

<sup>71</sup> En el caso en que se aceleran las interacciones, la persistencia entre agentes se puede dar por la siguiente ecuación que también representa la función de correlación de adyacencia (Holme & Saramäki, 2013):

$$\gamma_i(y) = \frac{\sum_{j \in \emptyset(i,t)} A(i,j,t) A(i,j,t+1)}{\sqrt{\sum_{j \in \emptyset(i,t)} A(i,j,t)} \sqrt{\sum_{j \in \emptyset(i,t+1)} A(i,j,t+1)}}$$

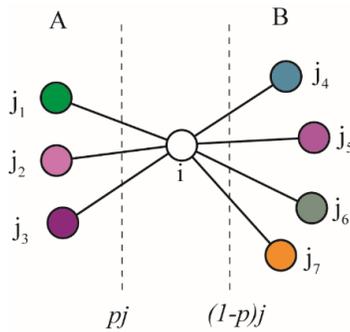
### 3.3 Todos son diferentes

¿Qué hace que los países, los agentes económicos o los agentes financieros no tengan la misma tecnología? Aunque se podrían mencionar específicamente varias razones, todas se sintetizan en la difusión, pues, esto es lo que hace que tecnológicamente los agentes sean diferentes. Sin embargo, la difusión tecnológica puede ser fundamentada desde la diferencia entre aprender a partir de una nueva idea y decidir adoptarla (Easley & Kleinberg, 2010). Así como el ecosistema financiero global crea una red, la transformación tecnológica también opera como una red y los procesos de innovación se difunden a través de un grupo de agentes que pueden facilitar o bloquear el progreso de una tecnología en particular, pero siempre definido como un proceso dinámico (Ryan & Gross, 1943; Strang & Soule, 1998; Rogers, 2003). No obstante, los agentes pueden tomar la decisión de adoptar una tecnología a partir de los resultados que han tenido otros agentes cercanos a su vecindario (Ryan & Gross, 1943), pero también define una jerarquía de quien asume el riesgo de adoptar una nueva tecnología, es decir, si es rentable o no, si genera beneficios directos, si es compatible o si la tecnología se ajusta al entorno en la que se encuentra el agente (Ellison, 1993; Morris, 1993).

– *¿Qué pasa si no todos tienen las mismas capacidades?*, preguntaba Tom.

La difusión de la tecnología puede verse perjudicada porque los agentes buscan interactuar con otros que son iguales a ellos y no permitir que nadie tome la decisión de adoptar la tecnología y mucho más cuando es externa al ecosistema (Easley & Kleinberg, 2010). También puede ser un proceso que cuando algún agente ha asumido el riesgo de adoptar la tecnología, los demás agentes también lo hagan, es decir, todo surge a partir de las expectativas de los agentes y sus sesgos comportamentales (McPherson, Smith-Lovin, & Cook, 2001). De otro lado, también puede ser resultado de los efectos directos que tiene o no la tecnología, ya que muchos agentes financieros

tomarán la decisión de adoptar la tecnología *A* dependiendo de que puedo obtener de ella y, en ocasiones, la decisión se justificara si el líder del mercado la ha implementado o no y si ha tenido beneficios directos o no (Morris S. , 2000; Easley & Kleinberg, 2010).



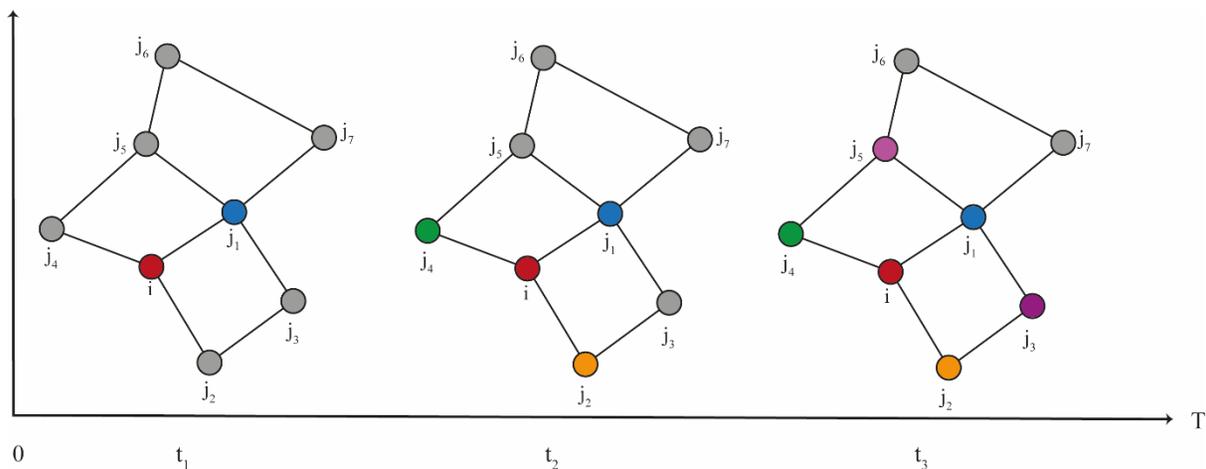
**Figura 3.6. Adopción de la tecnología.**

La adopción de la tecnología puede estar justificada a partir de lo que hacen los agentes vecinos más cercanos y los beneficios que obtienen estos de una u otra tecnología (Figura 3.6). Se puede suponer que el agente *i* tiene *j* vecinos y una fracción *p* de los vecinos de *i* adoptan la tecnología *A* y la otra parte de los vecinos de *i*, es decir,  $(1 - p)$  adoptan la tecnología *B*; es decir,  $pj$  adopta *A* y  $(1 - p)j$  adopta *B*, entonces, si el beneficio para *i* de adoptar *A* es  $pja$  y de adoptar *B* es  $(1 - p)jb$ , *A* será una mejor opción si:  $pja \geq (1 - p)jb$ .

No obstante, las decisiones de los agentes financieros para adoptar una tecnología incorporan un amplio rango de consideraciones que requieren un mayor grado de complejidad más allá del beneficio y un cambio en la temporalidad de adopción de la tecnología, es decir, se empiezan a definir incentivos adicionales que hacen que la adopción de la tecnología sea un proceso donde cada agente la define en diferentes momentos y que a partir de ahí definirá cual es el mejor proceso de adaptación. Posiblemente, algunos agentes no adoptaran la tecnología con mayores beneficios

porque, en ocasiones, hay una serie de costos que el agente no puede asumir o que superan el beneficio de adoptar la tecnología (Figura 3.7).

El proceso de difusión de la tecnología no se basa exclusivamente en los beneficios iniciales, sino que los agentes decidirán adoptar una tecnología como parte de su estrategia de permanencia dentro del ecosistema financiero. Este es un aspecto que define que el agente financiero no solamente esta interactuando en una dimensión tecnológica, sino que también en otras dimensiones, que pueden influenciar su decisión de adoptar la tecnología. Esta decisión no dejara de lado los beneficios, debido a que, si estos son cada vez mayores, los agentes aceleran su proceso de adopción siempre y cuando sean homogéneos para todos los agentes. En el evento en que los beneficios sean heterogéneos, los agentes financieros decidirán de forma diferente a cuando eran homogéneos y no solamente dependerán del proceso que implementan los agentes vecinos.



**Figura 3.7. Adopción de la tecnología de varios agentes.**

En  $t_3$  los agentes  $h$  y  $f$  no adoptan la tecnología.

No siempre los primeros agentes en adoptar la tecnología pueden llegar a influenciar la adopción por parte de otros agentes (Borgatti, 2006), esto como resultado que no siempre se basa en el poder de influencia de los agentes sino también en la medida en que estos tienen acceso a otros agentes

fácilmente influenciables (Watts & Dodds, 2007). Adicionalmente, los primeros agentes pueden ser quienes detenga la cascada que se genera en los procesos de difusión tecnológica, de la misma forma que sucede cuando una tecnología llega a un clúster que no la ha adoptado (Easley & Kleinberg, 2010).

Entonces, ¿qué tan fuerte puede ser la cascada que se genera por la difusión tecnológica? Este proceso no puede ser definido solamente en  $t$  sino en una secuencia indefinida de periodos, es decir,  $t = 0, 1, 2, 3 \dots n$ , en el que  $t > 0$  y, posteriormente, los agentes buscarán ajustar la adopción de la tecnología hasta el punto en que exista una adaptación definitiva (Vega-Redondo, 2007). Por esta razón, el proceso de difusión tecnológica puede ser argumentado desde la trayectoria que resulta de sucesivos procesos aleatorios conocida como caminata aleatoria (random walk), ya que la posición de un agente en  $t$  depende sólo de su posición en algún instante previo, es decir, en  $t_{-1}$  y alguna variable aleatoria que determina su dirección y la longitud que tiene cada uno de sus pasos. Este proceso aleatorio también varía con respecto al tiempo, cuando  $t \rightarrow \infty$  porque se incrementan la cantidad de posibilidades de difusión y porque se logra definir un cambio tecnológico agregado para todo el ecosistema financiero global a partir de esas posibilidades de difusión. Aunque, la difusión tecnológica varía de acuerdo con la forma en que se implementa la tecnología, ya que esta puede ser adoptada permanente o temporalmente, es necesario verificar que características tiene la tecnología y qué impacto tendrá al interior del agente financiero y en general en el ecosistema, pues, cada agente ha implementado la tecnología en la medida de sus posibilidades económicas, financieras y técnicas a lo largo de la historia financiera sin importar el lugar o el momento en que se encuentra. Entonces, ¿cómo puede transformar las interacciones del agente en  $t < \infty$ ?

Si el ecosistema financiero global presenta una evolución que ha transformado la forma de interactuar de los agentes financieros, principalmente con las transformaciones políticas y económicas, al integrar las transformaciones tecnológicas, las posibilidades de que se presente cambios al interior del agente financiero son mayores y pueden definir nuevos procesos de interacción entre ellos. Es decir, ¿la actividad financiera evoluciona hacia la complejidad? Con la implementación del telégrafo los agentes financieros pudieron obtener de manera más ágil la información para desarrollar cualquier interacción y así sucesivamente con las otras tecnologías que fueron adoptadas, pero más que ser una serie de procesos fue la emergencia de una nueva forma de hacer las finanzas y no solamente de hacer más transacciones. Durante ese proceso es fundamental la adaptación a la tecnología, que se puede dar en  $t \rightarrow \infty$ , debido a que el agente financiero puede lograr estabilizar su implementación o definitivamente tomar la decisión de regresar a la tecnología anterior, una situación cada vez más difícil en un ecosistema financiero global con una mayor frecuencia de las transformaciones tecnológicas y de la creciente competencia.

Los procesos tecnológicos durante el siglo XXI hacen más difíciles la adopción y adaptación de la transformación tecnológica, debido a que cada vez son más frecuentes y los agentes financieros deben decidir cuáles son sus objetivos dentro del ecosistema financiero global, ya que la adopción o no de una tecnología le puede definir ese lugar. Por esta razón, las transformaciones tecnológicas que deben asumir los agentes financieros requieren de decisiones más ágiles, ante una mayor velocidad de los cambios tecnológicos que a diferencia de los procesos de decisión que se dieron con el telégrafo, el teléfono, el computador e internet, estos pueden definir sus interacciones en el ecosistema. ¿Será necesario definir la transición tecnológica de la misma forma que la difusión tecnológica?, ya que ellas se complementaran en un proceso que hará del tiempo parte fundamental

en los procesos de decisión. Sumado a esto, las características del espacio donde se desarrolla, es decir, la estructura donde se presenta la difusión tecnológica.

En la siguiente sección, se incorpora el proceso de transición tecnológica, el cual ante la aceleración de los cambios tecnológicos requiere del uso de algunas metodologías de la física para entender la diversidad de cambios que pueden tener los agentes y las redes financieras con la tecnología.

### **3.4 Una segunda emergencia**

La transición tecnológica puede ser justificada desde diferentes aproximaciones disciplinares que facilitan la argumentación transdisciplinar, pero en especial, cómo se da la transición de un estado a otro no solamente depende de la interacción entre los agentes sino también del valor de una serie de parámetros externos que en el estado termodinámico de un sistema puede hacer referencia a la temperatura, la presión y la densidad (Barrat, Barthélemy, & Vespignani, 2008). Para esto, la transición tecnológica que es continua se implementa sobre el modelo de Ernest Ising, el cual es usado en varias áreas de la física porque describe la emergencia espontánea del orden y específicamente porque se pueden verificar las hipótesis de escala y universalidad en la teoría de los fenómenos críticos (Dorogovtsev, Goltsev, & Mendes, 2008). En otras palabras, el modelo describe la transición de fase de una materia caracterizando la interacción entre partículas y el efecto del ambiente externo sobre las partículas; es decir, la magnetización desaparece por encima de cierta temperatura crítica, mientras que la magnetización aparece por debajo de cierta temperatura crítica (Chengcheng, Fengming, & Pu, 2018). Para ser más precisos, es definir una función que represente la energía de cada configuración posible (como microestado) de los giros (spins) entre las partículas.

- *¿Por qué nos están explicando física?*, preguntaba uno de los asistentes

- *Para ser agente se debe conocer mucho más de lo que imaginamos*, respondía M.
- *Se plantea una función energética (hamiltoniano)  $\mathcal{H}$ <sup>72</sup> ...* Ethan continuaba con la explicación.

Esta ecuación describe el modelo en una red que no se aparta de la formulación tradicional y establece la interacción de un sistema de partículas que se conciben como magnetos microscópicos en el que cada partícula y sus estados o giros binarios -superior e inferior- interactúan inmediatamente con las partículas vecinas (Chengcheng, Fengming, & Pu, 2018; Vega-Redondo, 2007). En este caso, se puede definir que la propagación de la tecnología surge de la toma de decisiones sobre la propagación o no de la tecnología de un agente financiero. Adicionalmente, la temperatura del ambiente en el modelo se equipará con la influencia del entorno, es decir, la intensidad de la tecnología y su importancia.

De esta manera, se presenta la dinámica de la adopción de la tecnología y las decisiones que toman los agentes financieros sobre una tecnología. Para esto es necesario profundizar en que en el modelo Ising, el hamiltoniano incluye dos tipos de interacciones. La primera viene del campo externo, en la que un campo magnético externo  $H$  puede dividir las energías del estado superior e inferior, de modo que uno es más alto en energía y el otro es más bajo. Así mismo, el tamaño de  $H$  representa qué tan fuerte es el campo magnético y su signo establece si es mejor girar hacia arriba o girar hacia abajo, es decir, cual es la mejor forma para hacer el proceso de transición.

---

<sup>72</sup> Matemáticamente, la función energética esta dada por:  $\mathcal{H} = -\sum_{i<j} J_{ij} A_{ij} S_i S_j - \sum_i H_i S_i$ , en el que  $\mathcal{H}$  representa la energía total del sistema bajo combinación de estados, la primera sumatoria representa las interacciones entre  $i$  y  $j$  que son los agentes en una red,  $i, j = 1, 2 \dots N$ .  $A_{ij}$  es un elemento de la matriz de adyacencia:  $A_{ij} = 1$  o  $0$  si los agentes  $i$  y  $j$  están conectados o desconectados, respectivamente y  $S_i$  son el grupo de giros individuales (spins) en cada uno de los sitios de la red. La topología de la red está definida en la matriz de adyacencia y  $H_i$  representa el campo externo y  $J_{ij}$  representa la interacción y su signo indica si los vecinos prefieren alinearse o no alinearse. Los términos  $J_{ij}$  y  $H_i$  también pueden ser parámetros aleatorios. Mientras, la segunda sumatoria representa el campo externo que intenta alinear todos los giros en una dirección.

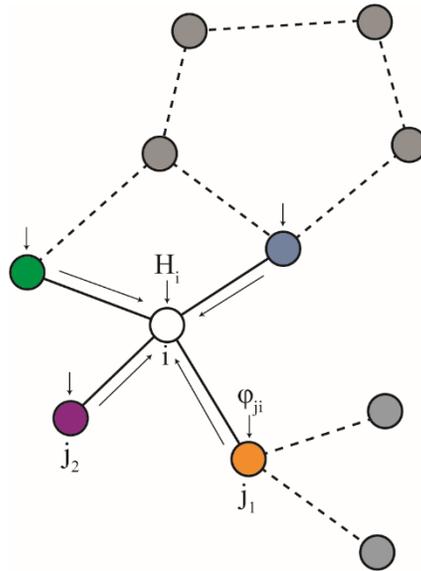
El campo magnético termina siendo definido por la suma total de todos los sitios, ya que se encuentra de esta forma la contribución total a la energía. En segundo lugar, está la interacción entre las partículas magnéticas vecinas, ya que estos querrán alinearse para apuntar en la misma dirección o alinearse para apuntar de diferentes maneras. Sin embargo, cada estado o giro de cada una de las partículas magnéticas puede influenciar la interacción a partir de su propio campo magnético, debido a que sus vecinos pueden sentir ese campo magnético y, así mismo, definir si las partículas vecinas prefieren o no alinearse. En este caso, cada sitio de red solo interactúa con los sitios directamente adyacentes a él en la red: en el caso de una sola dimensión cada partícula tiene dos vecinos cercanos -derecha e izquierda- y en dos dimensiones -arriba y abajo- definiendo que todas las partículas vecinas tienen las mismas características y son tratadas por igual, es decir, las interacciones son isotrópicas<sup>73</sup>. A partir de esto, la existencia de una transición de fase se define a partir de qué valores de control son compatibles con comportamientos ordenados o desordenados en diferentes dimensiones (Barrat, Barthélemy, & Vespignani, 2008).

Para el caso de una red compleja como el sistema financiero global, se puede utilizar la propuesta de Bethe (1935) y Peierls (1936), quienes tienen en cuenta solo las interacciones de un giro con sus vecinos más cercanos y, de esta forma, reducir el problema de  $n$  interacciones a un problema finito, debido a que las interacciones de las partículas vecinas con las restantes en una red se incluyeron en “campos medios” (Dorogovtsev, Goltsev, & Mendes, 2008). En este caso, se define un agente central  $S_i$ , su vecino más cercano  $S_j$ , así como con los agentes que interactúan con  $S_i$  por ser los más cercanos donde se concentra el proceso de transición, pero se deja abierto los campos de cavidad  $\varphi_{ji}$ , que son aquellos agentes que tienen en cuenta las interacciones con los demás

---

<sup>73</sup> La isotropía se refiere al hecho de que ciertas propiedades físicas de algunos cuerpos no dependen de la dirección escogida para dicha medida. Para una ampliación, véase: Newnham (2005).

agentes (Mézard & Parisi, 2000), logrando definir un clúster alrededor de la energía de  $S_i$  (Figura 3.8)<sup>74</sup>. Sumado a esto, se puede generar un campo adicional  $h_{ji}$  que replica la transición y genera mensajes para que se repliquen en otros agentes o que definan un nuevo clúster, debido a que no siempre se mantiene el mismo circuito que define la transición tecnológica (Yedidia, Freeman, & Weiss, 2001). Sin embargo, el campo local puede conducir a una gran cantidad de estados termodinámicamente estables y mantener una secuencia de transiciones (Menche, Valleriani, & Lipowsky, 2011).



**Figura 3.8. Clúster de transición.**

La transición de la tecnología no es solamente un proceso aleatorio definido por un agente  $i$ , sino que puede estar influenciado por otros agentes  $j$ . Adicionalmente, el proceso de transición no depende exclusivamente de la interacción de los agentes, sino que va a depender en gran medida

<sup>74</sup> El clúster se puede definir como:  $\mathcal{H}_{cl} = -\sum_{j \in N(i)} J_{ij} A_{ij} S_i S_j - H_i S_i - \sum_{j \in N(i)} \varphi_{ji} S_j$ , en el que  $N(i)$  significa todos los agentes adyacentes al agente  $i$ . Las interacciones entre los agentes  $j \in N(i)$  se dejan como parte de los campos de cavidad  $\varphi_{ji}$  y adicionalmente se define el campo magnético  $H_i$  en el tiempo  $t$  que actúa sobre el agente  $i$ :  $H_i^{(t)} = H_i + \sum_{j \in N(i)} h_{ji}$ .

de la estructura de la red, su heterogeneidad y del crecimiento sin equilibrio. Entonces, ¿la transición de la tecnología puede tomar cualquier camino? Claramente no es un grupo de caminos dentro del sector T137 que recrea Phillip Dick (1954) en su obra de ciencia ficción “Adjustment Team”, sino que puede tomar cualquier camino pero limitada a que si la distancia entre los agentes es pequeña y el diámetro se define como el logaritmo del tamaño de la red  $N$ , se puede influir en la aparición de fenómenos colectivos y se estaría hablando de una red de mundo pequeño (Watts & Strogatz, 1998). En este caso, se presenta una interpolación continua en la cual no se observa fácilmente el proceso de transición de fase.

- *Entonces, ¿siendo la transición tecnológica un proceso dinámico como puedo definir la relación con la estructura de la red?*, preguntaba Ethan.

La transición tecnológica se convierte en un proceso definido por la topología de la red y también por su geometría, ya que no solo la topología sino también la geometría desempeña un papel crucial en la determinación de las propiedades dinámicas de una red (Millán, Torres, & Bianconi, 2018). Para este caso, la geometría en redes complejas es hiperbólica porque permite el enrutamiento y la navegabilidad, factores fundamentales para la transición y la definición de algoritmos que facilitan entender la difusión y transición de los procesos tecnológicos, los cuales se maximizan en espacios hiperbólicos (Boguñá, Papadopoulos, & Krioukov, 2010).

- *Es claro que la cercanía física ya no es el elemento que define las interacciones entre los agentes financieros*, mencionaba M.
- *Entonces, ¿en el ecosistema computacional las cercanías están fundamentadas por la similitud tecnológica que se define a partir de los procesos de adopción y adaptación?*, preguntaba Tom.

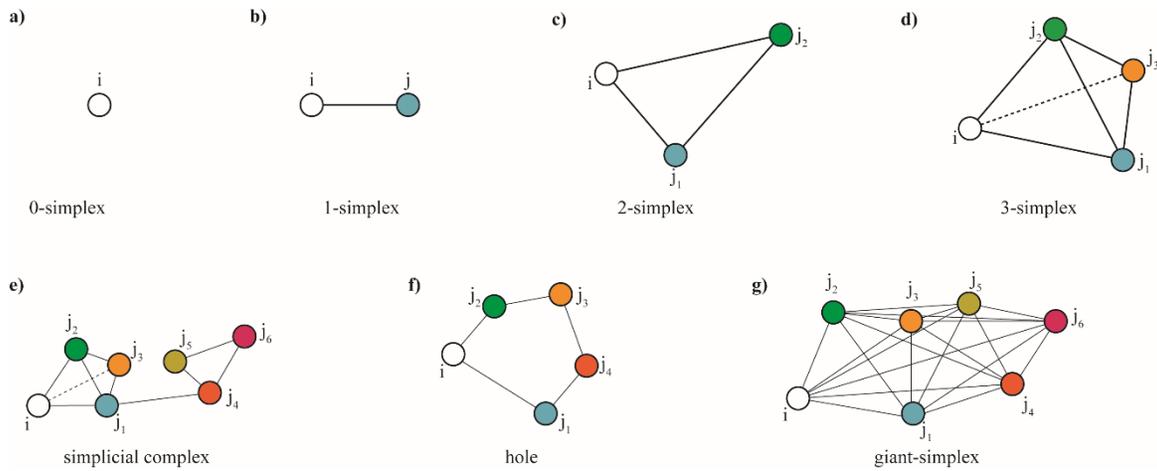
Aquí juega un papel fundamental la cercanía entre los agentes para establecer la transición de la tecnología en el sentido en que no solamente se sustenta en la agrupación, sino también en el que las redes tienen un espacio de inclusión oculto, el cual describe las características intrínsecas y la similitud entre los agentes como una distancia oculta y sugiere que estas redes tienen una geometría subyacente no trivial (Boguñá, Krioukov, & Claffy, 2009; Wu, Menichetti, Rahmede, & Bianconi, 2015). En este marco, los agentes están incrustados en una estructura métrica oculta de curvatura negativa constante que determina su evolución de tal manera que los agentes más cercanos en el espacio tienen más probabilidades de estar conectados. No obstante, las propiedades espaciales de la red emergen espontáneamente debido a que la red surge en un espacio cualquiera con una dinámica de crecimiento sin equilibrio. Es decir, en las redes espaciales sí un agente  $i$  conecta dos agentes  $(j_1, j_2)$ , estos dos deben estar conectados por una ruta de corta distancia, en la que el crecimiento de la red está determinado por dinámicas estocásticas sin equilibrio y se pueden generar geometrías autoorganizadas complejas, dado que las redes de crecimiento geométrico tienen una estructura altamente heterogénea reflejada en la aparición espontánea de propiedades locales y espaciales (Wu, Menichetti, Rahmede, & Bianconi, 2015).

Para entender esto, es necesario primero establecer los complejos simpliciales que proporcionan un ejemplo de redes donde las interacciones no son solo por pares, sino que pueden describir la interacción de muchos cuerpos entre estos agentes dependiendo de la dimensión  $d$ <sup>75</sup>. Por ejemplo,

---

<sup>75</sup> Un complejo simplicial es un objeto construido a partir de puntos, aristas, triángulos y sus contrapartes  $n$ -dimensionales, además, la intersección de dos simplices es un complejo simplicial (Figura 3.9e). Adicionalmente, la homología simplicial ayuda a contar los componentes conectados y formalizar el número de características como agujeros en un complejo simplicial (Figura 3.9f). Estas conexiones pueden conducir a la construcción de un simplex gigante (Figura 3.9g) en el que todos los agentes están conectados, es decir, una topología trivial o también se puede construir un complejo simplicial Vietoris-Rips. Para una ampliación de este tipo de complejo, véase: Chambers, et al., (2010) y sus referencias.

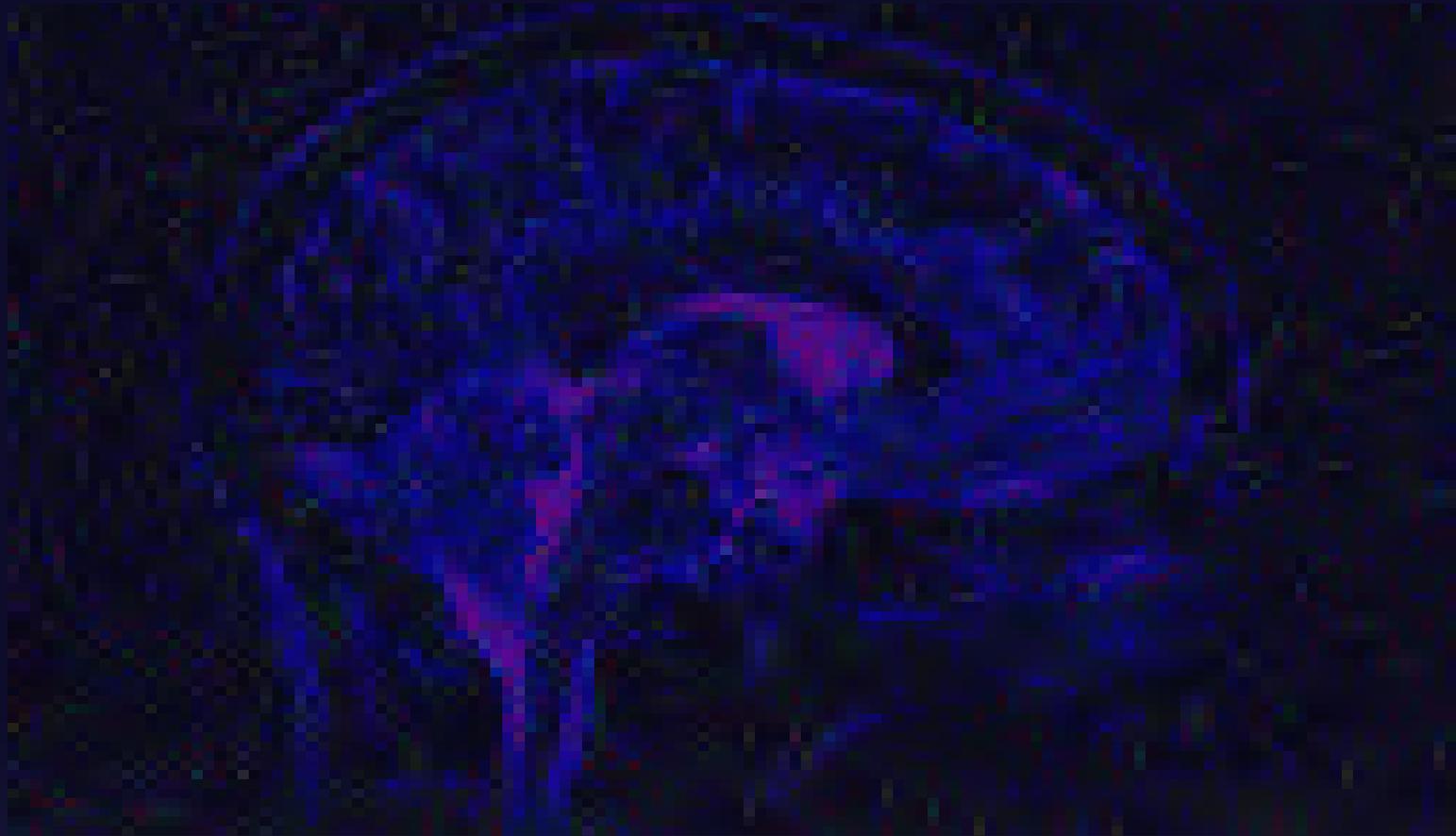
un simplex de dimensión  $d = 0, 1, 2, 3$  puede identificarse, como lo presenta la Figura 3.9, con un agente, un enlace, un triángulo y un tetraedro, respectivamente (Mulder & Bianconi, 2018).



**Figura 3.9. Complejo Simplicial.**

Geoméricamente, una mayor densidad de enlaces dentro de una estructura de comunidad indica que sus agentes son más similares entre sí que con los otros agentes, porque los enlaces conectan solo agentes ubicados dentro de un cierto umbral de distancia de similitud. Todos estos agentes densamente vinculados están cerca uno del otro en alguna área del espacio de similitud, lo que significa que la densidad espacial del agente es alta en esta área. Por lo tanto, una comunidad se convierte en un grupo de agentes espacialmente cercanos (Zuev, Boguñá, Bianconi, & Krioukov, 2015). Al incluir la geometría de redes, se logra un acercamiento a las redes en crecimiento que son fundamentales para entender la evolución del ecosistema financiero, pero también para la difusión y transición de la tecnología en las interacciones entre los agentes financieros. Entonces, ¿se puede identificar el direccionamiento del ecosistema financiero global a partir de la innovación de nuevas tecnologías, así como de la simbiosis entre los ecosistemas financiero y tecnológico? En el siguiente capítulo, se precisa el ecosistema de la inteligencia artificial como transformación

tecnológica y se profundiza en la geometría de las redes financieras, lo cual abre el primer espacio para proponer una modelación basada en la geometría hiperbólica de redes.



4

Simbiosis + Sinapsis

#### 4 Simbiosis + Sinapsis

Al conocer los determinantes de las transformaciones tecnológicas, así como su impacto e integración con y en el ecosistema financiero global, el equipo de agentes se disponía a entender cómo se integraría la inteligencia artificial (AI) como transformación tecnológica.

- *¿Qué es inteligencia artificial?*, preguntaba Tom.
- *La definición de inteligencia artificial no es única, son diversas*, respondía M.

Una definición, que reúne casi todos los elementos, establece que la inteligencia artificial es una simulación de los procesos de la inteligencia humana como el aprendizaje, el razonamiento y la autocorrección a través de sistemas computacionales (Bostrom, 2014; Kaplan J. , 2016; Tegmark, 2017). La inteligencia artificial se utiliza desde sistemas que apoyan la inteligencia natural hasta sistemas con habilidades cognitivas generalizadas que puede encontrar soluciones sin intervención humana.

¿Significa que la inteligencia artificial reemplazará la inteligencia humana? Realmente no, debido a que la inteligencia artificial surge de la innovación y la capacidad cognitiva del ser humano, es decir, surge de la inteligencia natural para convertirse en una inteligencia aumentada que permite desarrollar varias capacidades que por limitantes físicas y energéticas no pueden ser desarrolladas por los agentes humanos. Por esta razón, se definen aspectos éticos para el uso de las herramientas de la inteligencia artificial debido a que estas surgen de la forma en que los humanos definan los parámetros que se usan para entrenar los algoritmos de aprendizaje automático y, a su vez, cómo estos serán implementados en alguna actividad. Entonces, se plantea la sinapsis de la inteligencia humana y artificial como elemento fundamental para la simbiosis de los ecosistemas financiero y de inteligencia artificial, pero ¿por qué se convierte en un elemento necesario para reducir la oscuridad de un abismo propia de la desintegración y la vista separada de los fenómenos?

El objetivo de este capítulo es integrar la inteligencia artificial en el ecosistema financiero haciendo especial énfasis en cómo se ha integrado en los agentes financieros, en su desarrollo y el aceleramiento del proceso de las interacciones entre ellos. Es identificar el proceso de simbiosis entre los ecosistemas y sinapsis entre las inteligencias, pues, la sinapsis como proceso electroquímico permite interacciones sutiles entre las dos inteligencias que pueden generar una superinteligencia, la cual consolide la simbiosis de los ecosistemas, a pesar de lo impredecibles que son los cambios en los procesos sinápticos, pero permita la emergencia de un nuevo ecosistema. De esta forma, en una primera sección se precisa la inteligencia artificial como un ecosistema teniendo como elemento direccionador la sinapsis con la inteligencia natural; en una segunda sección en cómo la inteligencia artificial ha sido usada en los agentes financieros y cómo está redefiniendo las interacciones entre ellos y con los usuarios financieros, pues de la sinapsis surge una superinteligencia. Después, cómo los agentes financieros acercan cada vez más el desarrollo de sus actividades a unidades de tiempo más pequeñas y, posiblemente, acercarse al espacio-tiempo cuántico. Finalmente, en una cuarta sección se presenta una nueva emergencia del ecosistema financiero computacional, esto hace referencia a los cambios temporales que surjan no solamente de la transformación tecnológica que resulte de la interacción de la inteligencia artificial y la inteligencia natural como proceso sináptico sino cuando se acerque a la computación cuántica, es decir, nuevos cambios topológicos y geométricos que podrían resultar.

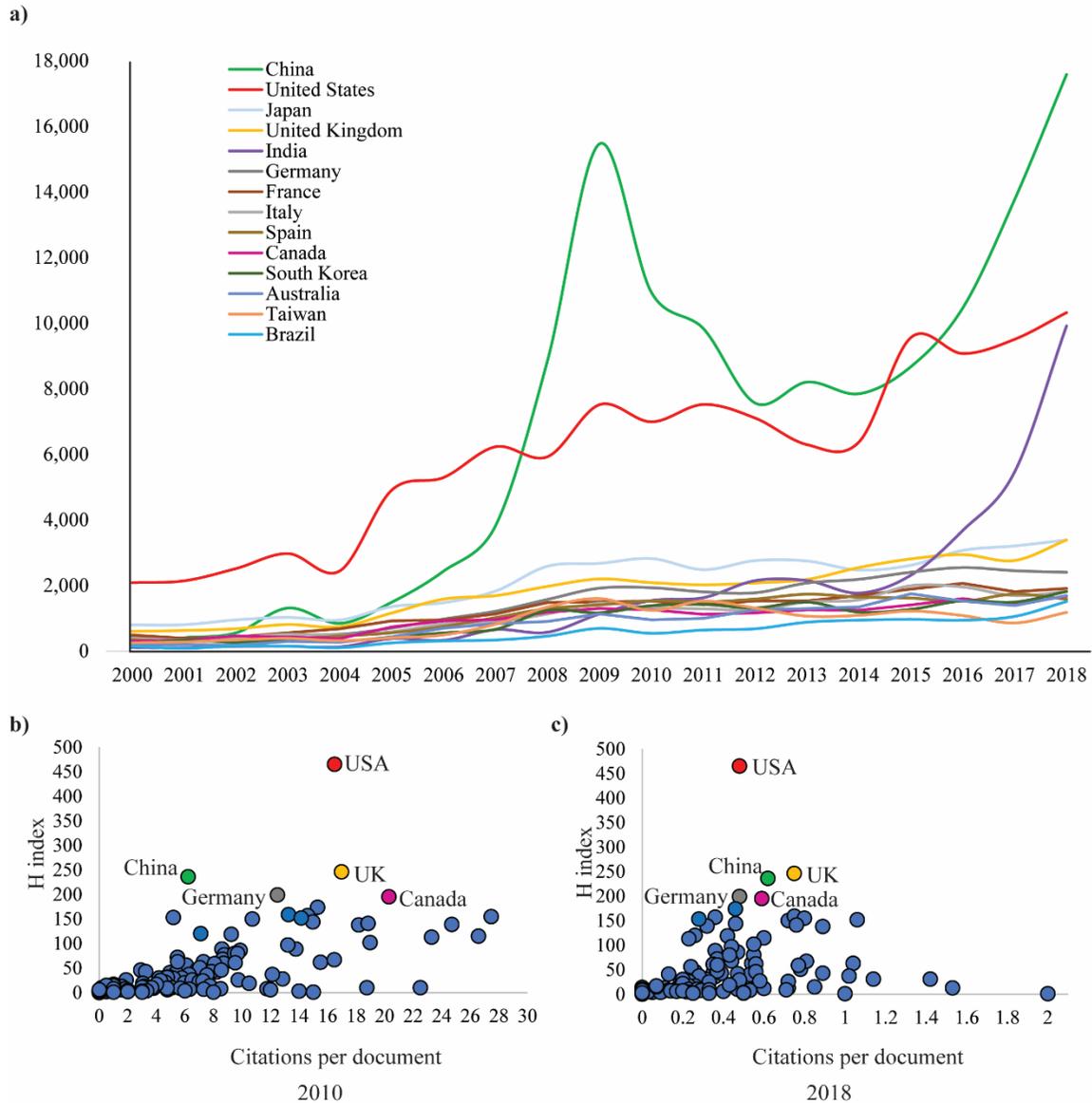
#### **4.1 Ecosistema de inteligencia artificial**

La inteligencia artificial se asocia habitualmente con sistemas computacionales que imitan funciones cognitivas de la inteligencia natural, como el aprendizaje, la toma de decisiones o la resolución de problemas (Russell & Norvig, 1995). Es algo más que un computador consultando una gran base de datos, pero mucho menos de lo que pensaron y escribieron Ian Watson y Stanley

Kubrick en su guion cinematográfico de Inteligencia Artificial. No obstante, con la inteligencia artificial se puede obtener conocimiento de los datos y la información a partir del uso de la analítica o se puede usar en tareas específicas, la cual se conoce como inteligencia artificial estrecha (Kaplan & Haenlein, 2019). También puede surgir de procesos en los que se integra a las funciones cognitivas y las características emocionales o en lo que Watson y Kubrick se imaginaron como la integración de una inteligencia artificial humanizada, es decir, una inteligencia cognitiva, emocional y social que se fusiona para crear estructuras conscientes. O simplemente pensar en que la inteligencia artificial es el resultado de la inteligencia natural, en la que su evolución se consolida como un proceso sináptico.

Para algunos la inteligencia artificial es una moda que puede tener un final dramático, pero desde 1956 en el extraño calor de verano del pequeño poblado de Hannover en New Hampshire en Estados Unidos, un grupo de científicos empezó a construir la base de lo que hoy se conoce como inteligencia artificial, y aunque durante algunos años se redujo su investigación como resultado en la limitación de los fondos de financiación al considerarlo como proyectos poco productivos, la investigación en inteligencia artificial ha sido un proceso desarrollado por más de sesenta años (Solomonoff, 1985; McCorduck, 2004).

En el periodo de 2015 a 2019, las inversiones en inteligencia artificial sobrepasan lo que se ha invertido desde sus inicios y uno de los factores más importantes es que se convirtió no solamente en una capacidad tecnológica sino en una capacidad necesaria para entender el avance hacia ecosistemas computacionales cada vez más extensos e integrados con la cotidianidad de la humanidad, así como en el poder de las empresas y los estados. Estos últimos han incorporado en sus estrategias de seguridad nacional y política exterior y en sus procesos de financiación pública de investigación a la inteligencia artificial.



**Figura 4.1. Evolución de la investigación en Inteligencia Artificial**

Fuente: Elaborado con datos de SJR (2020).

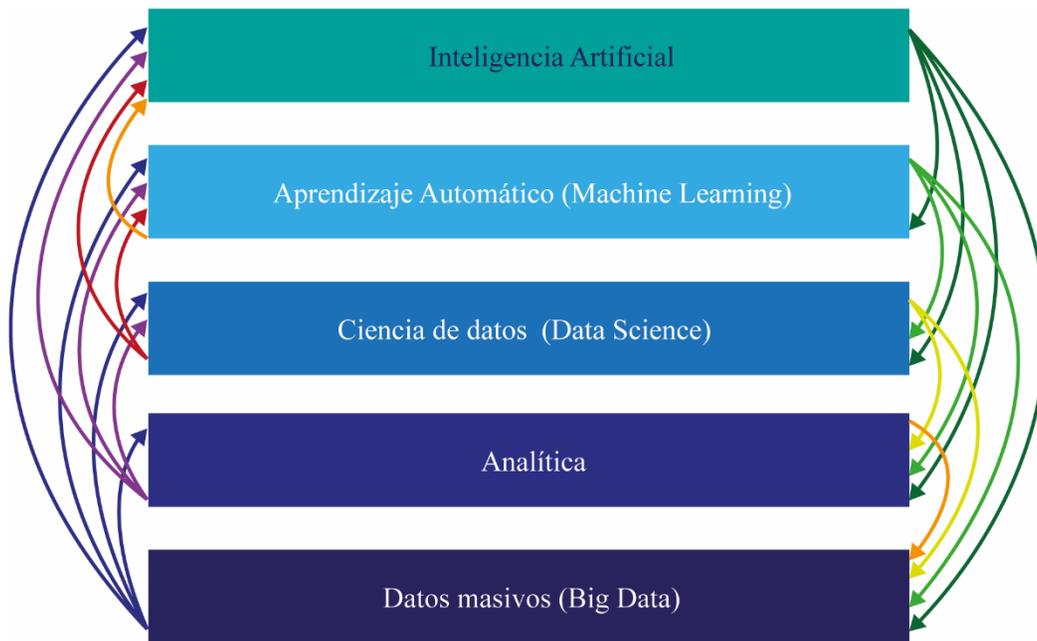
China está implementando como parte de su política pública de fomento a la investigación, la innovación y el desarrollo tecnológico una serie de programas que lo conducen a ser el mayor inversionista y generador de investigaciones y patentes en inteligencia artificial para la década de 2020 y, aunque, Estados Unidos sigue a la cabeza por contar aún con el mayor número de científicos e investigadores en el campo, los niveles de inversión de China tienen una mayor tasa

de crecimiento que la de Estados Unidos (O'Meara, 2019). No obstante, las cifras de documentos científicos muestran la consolidación de varios países que se integran con los avances en la inteligencia artificial (Figura 4.1).

¿Entonces cuál es el ecosistema de la inteligencia artificial? Este ecosistema surge de la combinación de diferentes herramientas de las matemáticas, la física, la estadística y la computación, en los que la inteligencia natural se traslapa con la inteligencia artificial y aprovecha los datos como un nuevo recurso, es decir, se fundamenta el primer elemento de la sinapsis de las inteligencias. Así como en el siglo XIII la madera era un recurso vital, el oro en los siglos XV al XIX, el petróleo en el siglo XX, los datos se convierten en el siglo XXI, la forma de lograr integrar las diversas disciplinas separadas desde siglos atrás; así como el recurso que facilita el desarrollo de nuevas actividades y la solución de problemáticas diversas. No obstante, los millones de datos generados segundo a segundo por la economía digital requieren de capacidades que la inteligencia natural por sí sola no puede lograr, debido a que se requiere una mayor capacidad de procesamiento. Pero la evolución de la humanidad se ha basado en datos, en otras palabras, la inteligencia ha evolucionado a partir de los flujos de datos, los cuales han logrado integrar la imaginación de la inteligencia natural con la capacidad humana de procesar los datos en el cerebro y crear nuevas cosas (DuBravac, 2015; Hidalgo, 2015; Harari, 2016).

De esta forma, el ecosistema de la inteligencia artificial no es independiente de la integración con la inteligencia natural y es así como los diferentes procesos en el ecosistema financiero computacional surgen de las interacciones de los agentes financieros, los agentes humanos y no humanos y del traslapo de las dos inteligencias, de una sinapsis que no es visible para muchos pero que está en permanente movimiento. Igualmente, emergen, pues, los procesos de aprendizaje automático que facilitan el uso de los datos para hacer crecer las ideas, las soluciones y la conexión

de los diferentes agentes. Es necesario entonces, definir algunos conceptos que permitan entender esas interrelaciones y la jerarquía que existe para identificar los procesos en cascada que se dan de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba en el ecosistema de la inteligencia artificial (Figura 4.2).



**Figura 4.2. Ecosistema de inteligencia artificial**

Como primer elemento están los datos masivos (Big Data) que pueden definirse como los conjuntos de datos cuyo tamaño (volumen), complejidad (variabilidad) y velocidad de crecimiento (velocidad) son difíciles de procesar, pero que a partir de su veracidad puede generar valor, a partir del uso de arquitecturas computacionales que facilitan su captura, procesamiento y análisis (Sathi, 2012). La complejidad de este tipo de datos se debe principalmente a su naturaleza no estructurada, ya que son generados por la digitalización de un sinnúmero de procesos que hasta hace algunos años eran análogos o no existían de esa forma. Igualmente, por el desarrollo tecnológico en los que los agentes humanos han pasado a estar incorporados en interacciones virtuales crecientes en redes sociales, pero también con artefactos que capturan permanentemente información como los sensores incorporados en diversos dispositivos y que tienen características de ser agentes no

humanos, así como las búsquedas en internet y todas aquellas interacciones que generan información que se deposita en repositorios digitales. Esto no significa que los datos estructurados hayan dejado de existir, la posibilidad de integrar tanto datos estructurados y no estructurados favorece el valor que se obtiene de los datos, así como los resultados cuando se aplican diferentes metodologías analíticas. En otras palabras, el valor de los datos masivos emerge como una forma diferente de abordar las diversas situaciones que se generan en los ecosistemas digitales.

Un segundo elemento es la analítica de datos, la cual ha logrado descubrir nuevos conocimientos que permiten desarrollar otro tipo de soluciones y propuestas para una infinidad de situaciones. El lograr extraer de los datos una información que al procesarla permite obtener nuevo conocimiento es una de las mayores transformaciones que ha tenido la inteligencia humana, porque al incorporar diferentes metodologías matemáticas, estadísticas y computacionales se logra procesar millones de datos que le permiten a la inteligencia natural tomar decisiones y solucionar problemas más rápido que los tiempos requerido para revisar cada uno de los datos, posiblemente, varios años de vida de muchas personas se hubiesen necesitado para obtener el conocimiento que fue resultado de un proceso computacional. Aquí surge una de las bondades de la analítica y es que el conocimiento es fácilmente integrable a diversas sociedades y comunidades, que anteriormente eran relegadas por no tener el conocimiento y porque este tenía un sesgo geográfico o social, al punto que algunos grupos poblaciones se consideraban civilizaciones más avanzadas y progresivas que otras (Adas, 1989; Hidalgo, 2015).

De esta forma, el conocimiento ha logrado deslocalizarse y se ha permitido que este surja desde diferentes lugares, es decir, que no se centralice y que pueda comunicarse más rápidamente (Sharda, Delen, & Turbam, 2008). ¿Pero es adecuado que exista mayor conocimiento en todas las localidades?, ¿somos cada vez más homogéneos? La inteligencia natural logra definir sus

necesidades a partir de los ecosistemas en los que interactúa y a partir de ahí definir cuáles son las mejores herramientas y metodologías para obtener de los datos el conocimiento que requiere. En consecuencia, la analítica es otra pieza del ecosistema de inteligencia artificial que facilita la generación de procesos descriptivos, predictivos y prescriptivos que ayudan a destinar los recursos hacia los intereses que tengan los diferentes grupos poblacionales que cuentan con la capacidad de las herramientas analíticas. Es así como se pueden lograr procesos que describan las causas de la pobreza o ayuden a buscar alternativas para solucionarlas, también las causas del tráfico en las ciudades o la forma para solucionarlo, pero igualmente influir en los procesos de elección y consumo.

Es cuando la analítica va más allá y se crea una nueva ciencia, la ciencia de datos, que se define como el trabajo de análisis que requiere una cantidad sustancial de habilidades de ingeniería de software y computación (Cady, 2017). Pero simplemente es una forma de reflejar como las estructuras humanas generan datos y se convierten, a su vez, en procesadores de datos, que podrán verse afectadas si no tienen la suficiente capacidad y eficiencia para procesarlos (Harari, 2016). Entonces, ¿la especie humana sí está amenazada por el ecosistema de la inteligencia artificial? No. La especie humana está amenazada por aquellos grupos sociales que se han beneficiado de la asimetría de la información para mantenerse en posiciones dominantes y que han logrado obtener beneficios por encima de los demás grupos sociales, por esta razón, la ciencia de datos integra a diversos grupos poblaciones para que la humanidad se acerque cada vez más a una igualdad que tantas veces había estado supeditado a los intereses de los demás grupos. ¿Entonces, sí está amenazado el ecosistema financiero tal como es hoy? En este caso, la posición dominante que en algunos momentos han tenido los agentes financieros puede ser la que realmente este amenazada, la ciencia de datos permite entender mejor y más rápido las necesidades de los clientes y ya no

serán necesarios varios pagos, honorarios y cuotas, lo que cambiará la forma de desarrollar las actividades financieras. Desde las oficinas de atención hasta la forma de diseñar los productos, los agentes necesitan también de la ciencia de datos para transformarse, pero los agentes humanos entenderán cual es el lugar más apropiado para desarrollar sus interacciones con los agentes financieros y con cuál de ellos obtendrá un mejor y mayor beneficio.

Es una nueva forma de lenguaje que surge de los datos. Una de las bondades de los procesos de lenguaje es acelerar el aprendizaje y la creación a través de su replicación, así como permitir la comunicación y la coordinación; pero al integrar el valor de los datos como resultado de su replicación que se incrementa con la digitalización (Kelly, 2010; DuBravac, 2015), se obtiene una forma de comunicación que emerge de las herramientas de la ciencia de datos que no son más que la integración de la inteligencia natural con la inteligencia artificial en una especie de nueva semiótica<sup>76</sup>. Se podría definir que la relevancia de la ciencia de datos es equiparable con la invención de la imprenta y a Johannes Gutenberg se le podría catalogar como el científico de datos del siglo XV, porque logró que más información llegara a más personas y no quedara relegada a las copias manuscritas que eran obtenidas por un selecto grupo de personas. En ese momento, el ecosistema del conocimiento se amplió y tuvo la posibilidad de ir a otros puntos geográficos que hasta ese momento no habían interactuado con otros conocimientos diferentes a los que los escribanos querían transcribir. Hoy, la ciencia de datos tiene esa posibilidad en la que la capacidad computacional, así como lo hizo la imprenta, abre un nuevo horizonte de comunicación y lenguaje.

---

<sup>76</sup> Los datos masivos están cambiando la forma de interpretar la riqueza de la semiótica, pues ahora es necesario acudir a métodos computacionales para entender la variedad de signos y formas que se generan en la sociedad, pues si la semiótica se ve como la ciencia que estudia el funcionamiento del pensamiento para explicar las maneras de interpretación del entorno y de difusión del conocimiento que tienen las personas, así como el análisis de los signos a nivel general, tanto lingüísticos (relacionados a la semántica y la escritura) como semióticos (los signos humanos y de la naturaleza); con la masificación de los datos es necesario entender una nueva forma de semiótica y acercarse a metodologías como el modelo de espacio vectorial semántico (SVS) y los espacios conceptuales como parte de la geometría. Para una ampliación, véase: Gärdenfors (2000; 2014), Manning (2004), Chartier et al, (2019).

El cuarto elemento es el aprendizaje automático, el cual logra que los sistemas computacionales aprendan de los datos que se le introducen y, a partir de esto, refinar automáticamente sus métodos y mejorar sus resultados a medida que obtiene más datos y ejecutan los algoritmos (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Sin embargo, los datos se introducen como una forma para que la máquina fomente su autonomía y, a través de los algoritmos, lograr aprender de los datos y reconocer patrones inmersos en ellos. Aunque la integración con la inteligencia natural sigue siendo necesaria, surgen espacios donde las máquinas dejan de ser dependientes de los humanos y mejoran las oportunidades, la especialización y la misma capacidad de eficiencia y evolución; pero esto no significa que se convierte en una carrera contra ellas sino en una forma diferente de integrar la capacidad de creación de los humanos (Brynjolfsson & McAfee, 2011).

Es el *technium* en el que se fusionan la cultura, el arte, las instituciones sociales, las creaciones intelectuales y todos los resultados de los inventos que surgen de la inteligencia natural para alentar más la invención tecnológica (Kelly, 2010); pero a su vez, se convierten en ecosistemas altamente complejos que requieren de procesos tan difíciles como la restauración de un ecosistema natural que harán que la humanidad piense más allá que simplemente incrementar la producción (Kelly, 1995; Brynjolfsson & McAfee, 2014). La humanidad pensará mejores formas de hacer las cosas y herramientas que faciliten las actividades de los agentes humanos.

El gran temor de que la inteligencia artificial, el punto más alto en esta estructura, se convierta en una forma de rivalizar con los humanos es desentenderse de los procesos de evolución en los que el agente humano ha usado nuevas herramientas para desarrollar sus actividades. Los seres humanos a partir de sus capacidades cognitivas complejas han logrado inventar y aprender, pero en ese proceso muchas innovaciones se han dejado de lado, se han dejado de usar, se han transformado o han sido reemplazadas por nuevas, sin establecer en ninguna de ellas un

desplazamiento del ser humano. La creatividad destructiva planteada por Schumpeter (1942) es una muestra que la capacidad humana está en permanente interés por hacer y desarrollar herramientas que faciliten su vida, desde el uso del fuego no solamente como forma para salvaguardarse del frío sino como herramienta de ingeniería para transformar materiales (Brown, et al., 2009), pasando por la tecnología para producir largas y finas hojas de piedra que ayudaron a la supervivencia del Homo Sapiens y su posterior migración fuera de África (Brown, et al., 2012), hasta la rueda que facilitó el transporte de objetos que la fuerza humana no lograba hacer (Bulliet, 2016). Estos son ejemplos de cómo la evolución humana a partir de su inteligencia logró innovar en tiempos tan disímiles, diferentes y distantes por miles de años.

Resumiendo, se establece que cada ecosistema, cada interacción y los diversos sistemas, ecologías y procesos en los que se ha incorporado el ser humano, lo han influenciado para definir su proceso de innovación. Hoy, la digitalización está llevando al ser humano y su inteligencia natural a buscar nuevas alternativas de entender el mundo, como lo hizo alguna vez con el fuego, con las armas para cazar y después para defenderse, con el vehículo, el barco, el avión y la nave espacial con los cuales pretendía alcanzar la imaginación. Adicionalmente, todos los sistemas conexos que se han generado como con el vehículo en los que no solamente son la herramienta de transporte sino las autopistas, los centros comerciales y las urbanizaciones alejadas del centro de las ciudades (Anthony, 2007), así como varios sistemas que hacen que la tecnología haya ajustado la cotidianidad de los humanos. Son millones de años en los que la evolución humana ha incorporado, para cada uno de los ecosistemas en los que ha convivido, nuevas herramientas que le permitan interactuar con cada uno de ellos. La inteligencia artificial es otra herramienta más para el ecosistema computacional y digital al que ingresamos los humanos desde hace años atrás, la cual nos permitirá seguir interactuando sin necesidad de mencionar que desapareceremos o seremos

desplazados. Posiblemente hemos sido desplazados de algunas actividades como cuando el hombre dejó de ser medio de transporte y se domesticaron algunos animales para que desarrollaran esas actividades y se logró que el comercio avanzara entre regiones tan distantes como China y Persia o Europa y China (Anthony, 2007). Después se crearon los motores a vapor, a combustión y ahora más recientemente eléctricos, pero esto ha sido el resultado de la inteligencia natural que le ha permitido hacer al humano otro tipo de actividades y algunas de las que hace el hombre serán reemplazadas por agentes no humanos.

De esta forma, el ecosistema de la inteligencia artificial permite que surja un nuevo ecosistema financiero que se basa en una estructura computacional y que, a su vez, integra una nueva visión de la ecología financiera que se basa en espacios digitales, virtuales y computacionales. En otras palabras, se avanza hacia una simbiosis de ecosistemas. En la siguiente sección se revisan algunas de las actividades financieras que se han integrado con el ecosistema de la inteligencia artificial.

## **4.2 Superinteligencia**

La inteligencia artificial era el resultado de las capacidades cognitivas de la inteligencia natural, entonces su combinación creaba una nueva forma de inteligencia que consolidaría la capacidad humano y de los agentes para desarrollar nuevas actividades, es decir, emergía una superinteligencia que le daba a los agentes financieros opciones diversas para desarrollar su evolución dentro del ecosistema financiero computacional, pero también era una emergencia dinámica que llevaría a los agentes financieros y, a quienes estaban dentro de ellos: los agentes humanos y no humanos a buscar nuevas dimensiones de la superinteligencia, la cual no solamente llegaría a un punto sino que continuaría avanzando hasta alcanzar una simbiogénesis.

Es así como, el ecosistema financiero está transformando sus actividades con métodos de modelación más sofisticados que se convierten en una pieza fundamental para los motores de

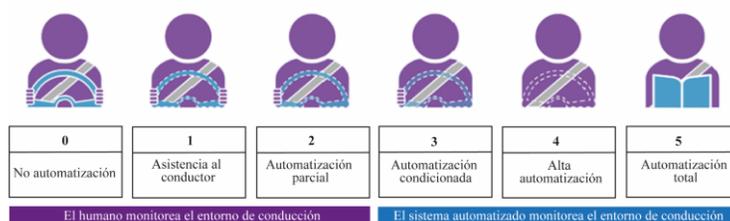
decisión al interior de los agentes financieros, guiando en ocasiones las operaciones de negociación y decisión de manera electrónica. Entonces, ¿el ecosistema financiero se encamina hacia una superinteligencia? Lo que se está logrando es que los agentes financieros creen un ecosistema de inteligencia artificial y un marco de aprendizaje automático que les permite, a partir de un creciente número de datos, direccionar sus capacidades para hacer de la actividad financiera un proceso más expedito que les facilita analizar los métodos de pago de un cliente, la estrategia de mercadeo a través del contenido digital o la automatización de varios procesos en los últimos diez a quince años. Es integrar a la inteligencia artificial en decisiones de crédito, en la gestión de riesgo, en la prevención de fraude, en los procesos de negociación de diversos activos financieros, en la personalización y en la automatización de procesos operativos. Aunque son varios los procesos en los agentes financieros que no están automatizados en su totalidad, muchas veces por los costos y los cambios culturales, existe una lista interminable que requiere de varios ajustes y procesos de investigación, innovación y desarrollo para hacerlo, así como para integrarlo con otras tecnologías que también están siendo parte de las transformaciones tecnológicas del ecosistema financiero como la cadena de bloques (blockchain) y la computación cuántica, sobre un escenario que no había sido tradicional en las actividades financieras: las fuentes de datos abiertos y los recursos colaborativos.

Antes de iniciar la tercera década del siglo XXI, se han definido cinco formas en las que la inteligencia artificial está transformando el ecosistema financiero cambiando el monitoreo humano

hacia el monitoreo de los sistemas automatizados<sup>77</sup>. ¿Serán las mismas en los próximos años? Eso no es fácil de determinar, pero claramente hará que los procesos en el ecosistema financiero sean diferentes a como los hemos realizado hasta hoy. Una de estas formas, es lo referente a la evaluación de riesgos, debido a que la actividad financiera siempre ha estado involucrada con el manejo de la incertidumbre y los agentes financieros en diferentes momentos han convivido, sorteado y abusado del riesgo, desde la crisis de los tulipanes en 1634, la burbuja de los mares del sur en 1720, la crisis Baring de 1890, la crisis de 1929, la burbuja tecnológica de 2000 y la crisis de 2008, así como las crisis que faltan por venir. Pues, las crisis se convierten en oportunidades para algunos, pero para otros agentes, encerrados en sistemas frágiles, se convierte en el momento para desaparecer.

De esta forma, la evaluación de riesgos ha tomado una nueva forma con la integración de la inteligencia natural y artificial, al punto en que se aprende cada vez más de los datos históricos y se amplía el panorama en esta evaluación, debido a que la decisión sobre la asignación de una tarjeta de crédito de un cliente de banca minorista hasta las operaciones de inversión de alta frecuencia en los mercados de activos financieros globales se pueden utilizar cada vez más estrategias con algoritmos para el aprendizaje automático. Es ir más allá de la información básica y usar un mayor volumen de datos que permita identificar fácilmente los riesgos que se presentan

<sup>77</sup> La conducción puede usarse como referente de la automatización en otros frentes establecida por The Society of Automotive Engineers (SAE, 2018) presenta que la evolución de la automatización se define a partir de la siguiente secuencia:



en las diferentes actividades financieras y lograr precisar los servicios y productos específicos para cierto tipo de clientes más allá de las habituales decisiones generalizadas. Algo similar ocurre con las inversiones en diversos activos que hacen que una mayor información facilite no solamente la toma de decisiones sino la definición de un conocimiento mayor sobre las características de las operaciones de inversiones. En otras palabras, conocer recomendaciones que surgen de la capacidad computacional de evaluar millones de datos que serían imposibles de revisar por la inteligencia natural, es decir, una menor posibilidad de error y un análisis de grandes volúmenes de datos, que cambian la forma de desarrollar las actividades.

De la evaluación de riesgos se logra precisar también la gestión y detección del fraude, que cada vez más se desarrolla en espacios digitales, pero que incluye una serie de actividades delictivas que superan al fraude tradicional. La suplantación de identidad (phishing) que no solamente accede a los sitios de internet de los agentes financieros sino a espacios como el mercadeo de productos y servicios financieros, es un riesgo que requiere ser detectado y que se despliega desde las actividades de fraude con tarjeta de crédito hasta las actividades de corrupción, lavado de activos y financiación del terrorismo (García-Bedoya, Granados, & Cardozo, 2020). La incorporación de las herramientas de inteligencia artificial y aprendizaje automático le ha permitido a la inteligencia humana entender y abordar los delitos financieros de una forma diferente, ya que se distinguen transacciones que no son habituales en millones de transacciones que diariamente se realizan alrededor del mundo y que han incrementado su cantidad cuando las tarjetas de crédito son cada vez más usadas en plataformas digitales para hacer pagos cotidianos como el transporte, la comida o el entretenimiento.

También, las transacciones inusuales en los diversos canales que tienen algunos agentes financieros especializados en atender personas, gobiernos y compañías, son el espacio para las

actividades fraudulentas, así como las plataformas digitales que han facilitado la actividad delictiva para el lavado de dinero y la financiación del terrorismo. La inteligencia artificial logra identificar y aprender de la situación para acercarse a los impactos que tienen estas actividades al interior de los agentes en el ecosistema financiero, así como en la sociedad, quien es la que sufre el crimen financiero en sus diferentes vertientes. Sin embargo, los agentes financieros han estado rezagados frente a los avances de las actividades delictivas y mucho más cuando las interacciones entre agentes en los espacios digitales crecen vertiginosamente (Weibing, 2011; Möser, Böhme, & Breuker, 2013; Pulakkazhy & Balan, 2013). Varios agentes del ecosistema financiero global se han visto comprometidos en las actividades de lavado de activos, pero con las transformaciones tecnológicas es posible solucionar en parte una situación que afecta al ecosistema financiero global y para esto, metodologías de inteligencia artificial y ciencia de redes se han implementado para reducir el impacto de esta situación (Paula, Ladeira, Carvalho, & Marzagão, 2016; García-Bedoya, Granados, & Cardozo, 2020).

Otro ejemplo de los cambios que el ecosistema financiero global está viviendo con la implementación de la superinteligencia, hace referencia a la asesoría financiera. Tradicionalmente, estos procesos han sido realizados por pocos donde algunos con sus conocimientos lograron atrapar a una serie de clientes que veían en ellos modelos a seguir por su exitosa vida de intermediarios y asesores financieros. Durante los primeros años del siglo XX, los asesores financieros se convirtieron en pieza fundamental y privilegiada de contar con información que muchos de los humanos del común no conocían o no tenían acceso, por eso muchos quisieron desarrollar actividades de inversión con estas personas que gozaban de una vida diferente a los demás agentes económicos. Algo similar continuó ocurriendo durante el siglo XX, cuando los asesores seguían siendo referentes de éxito y se convirtieron en los enlaces entre los agentes

financieros y los agentes económicos con excedentes, quienes buscaban nuevos horizontes de inversión.

La fuerza laboral de asesores financieros ha crecido en los últimos años, concentrando cada vez más grupos de asesores para diferentes segmentos como los clientes de banca minorista hasta los clientes de banca privada y gestión de fortunas, pero en los que los procesos de asesoramiento tienen un alto costo de comisiones para los clientes. Por esta razón, los agentes financieros, más presionados por los resultados y las utilidades, han acudido a la inteligencia artificial como una herramienta que ayuda a mejorar sus resultados haciendo menos costoso los procesos de asesorar a los clientes. Para el año 2019, existían más de 1000 opciones para que los clientes de los agentes financieros fueran atendidos en diferentes segmentos por robots, quienes asesoran en diferentes situaciones sencillas hasta algunas más complejas, pero ¿qué será cuando se le entregue el asesoramiento a un robot? Posiblemente, los procesos donde las máquinas son más eficientes y menos costosas que los asesores humanos pueden incorporarse fácilmente dentro de los agentes financieros, pero el valor esencial está en la sinapsis, que logre combinar la capacidad de la inteligencia artificial y el conocimiento humano constituyéndose en una inteligencia, que emerge como una superinteligencia, es decir, obtener un mejor resultado que los que se obtiene con la acción de la inteligencia natural y la inteligencia artificial por separado. La sensibilidad y pasión de la inteligencia natural permiten un mejor entendimiento del contexto social y de cómo la gente adopta y cambia su comportamiento (Shah, 2020), por eso es fundamental en la simbiosis de las inteligencias.

Es constituir, un sistema complejo de inteligencia y conocimiento que fortalezcan aún más el proceso de asesoramiento financiero, ante una avalancha de agentes económicos con mayores posibilidades de acceder a las inversiones financieras por los mejoramientos generalizados del

ingreso y por las opciones cada vez más sencillas de acceder a los mercados financieros, ante una “financiarización” de muchas de las actividades cotidianas que anteriormente no estaban integradas a las actividades financieras. Es ver la inteligencia artificial como un componente adicional en las decisiones financieras que son propias de los agentes económicos pero que al integrarse pueden reducir la incertidumbre propia del mercado, pero a su vez puede traer otras que son propias de los ecosistemas computacionales.

A partir de los procesos de asesoramiento se puede identificar la actividad más representativa de los agentes financieros frente a los mercados financieros globales como es la intermediación y la negociación de activos financieros (trading). Esta actividad que durante siglos estuvo definida por la interacción entre agentes económicos frente a frente donde era necesario la interacción física para la entrega del activo o la mercancía, se fue diluyendo en la medida en que la tecnología incursionó en las actividades de intermediación. Las aglomeraciones en los pisos financieros llevaron a que muchos activos pudieran ser negociados por agentes económicos que eran respaldados por agentes financieros para abastecer de mercancías e inversiones a sus clientes. No obstante, con el tiempo varios de estos productos o mercancías se convirtieron en más que simples activos de inversión y se masificaron a un mayor grupo de personas a través de los cambios tecnológicos como el teléfono y el computador que hacían más sencillos los procesos de gestión de las inversiones. Eso condujo a que los activos de inversión se convirtieran en activos de especulación, lo que requirió que las órdenes de operaciones no fueran atendidas exclusivamente por un agente al otro lado del teléfono o en la pantalla de un sistema de información, sino que quien tomara las decisiones de operación fuera un grupo de algoritmos que hicieran cada vez más rápidamente las operaciones. Es la creación de un ecosistema donde la interacción física del conocimiento humano pasa a ser una interacción en ecosistemas computacionales, ya que la

inteligencia natural es el motor para entrenar las estructuras de aprendizaje automático y de inteligencia artificial.

Por esta razón, cada vez más agentes financieros como los fondos de cobertura o los bancos de inversión están integrando en sus procesos de negociación, además de estructuras algorítmicas, estructuras que les permitan determinar patrones futuros en los diferentes mercados financieros usando procesos de simulación, pero también obteniendo una serie de patrones de los datos pasados que facilitan el entendimiento de la evolución de los mercados y del ecosistema financiero. No obstante y aunque las máquinas tienen la capacidad de procesar millones de datos en tiempos cortos, el ecosistema financiero enfrenta una serie de situaciones que pueden dificultar la acción de intermediación y que hacen referencia a ¿cuáles serán las decisiones apropiadas para que las inversiones continúen avanzando y para que logren mejorar condiciones y características no solamente del ecosistema financiero global sino de la sociedad en general?, o mejor ¿cuándo este ecosistema puede ser el eje para solucionar dificultades como el deterioro del medio ambiente, la desigualdad y la pobreza?

Estos eventos podrán ser solucionados si se les enseña a las máquinas a reducir los errores que se reflejan en los datos pasados y predecir cómo estos patrones pueden no repetirse en el futuro o dejar definitivamente que se sigan presentando en él. Esto solamente lo logra definir el entrenamiento que la inteligencia natural le dé a la inteligencia artificial y la forma en que se construyan modelos predictivos. En este caso, la identificación de anomalías será fundamental para solucionar dificultades propias de las crisis financieras que surgen por situaciones que superan la inteligencia natural y van más allá de los procesos racionales que desatan dificultades económicas, ambientales y sociales cuando la inteligencia natural es superada por el

comportamiento de los agentes económicos que olvidan su capacidad de conocimiento y son superados por el éxtasis de la riqueza efímera de la especulación.

Entonces, es necesario desarrollar esquemas computacionales que reduzcan las anomalías en los mercados financieros y reduzcan los impactos que generan los excesos de la inteligencia natural. En otras palabras, es lograr hacer pronósticos que definan escenarios para los diversos apetitos de riesgo e incertidumbre que manejan varios de los agentes financieros. En este proceso, muchos agentes pondrán a prueba sus modelos de simulación e irán hasta el límite para lograr mejores ganancias. Nuevamente, es la inteligencia natural la que define el punto hasta dónde quiere ir con la simulación y la definición de los escenarios. Es establecer, cómo, dónde y cuándo hacer los procesos de inversión dependiendo de cuál sea su apetito por el riesgo y la inteligencia artificial le podrá alertar o cerrar la operación de quien negocia, si ha superado ciertos niveles de precios en algún activo en el que este invirtiendo. Porque en las actividades de inversión, la inteligencia natural deja espacios para la negligencia y la obstinación, así como para la intuición que en ocasiones tiene sus frutos pero que en otras pueden generar altos costos para los agentes financieros. Es así como la combinación entre la institución y la inteligencia parametrizada y evaluada millones de veces, permite que la inteligencia artificial pueda reducir las crisis siempre y cuando los que realicen el entrenamiento de esta inteligencia busquen mitigar los errores de la condición humana, porque, en ocasiones, el comportamiento cotidiano se ha excluido como algo falto de importancia (Arendt, 1958).

De la misma manera, la inteligencia artificial puede colaborar en el proceso de gestionar las finanzas de los agentes económicos y de administrar los recursos de los diversos agentes que interactúan desde el ecosistema financiero local y personal hasta el global y multinacional de los agentes financieros. Entonces, el ecosistema financiero si está dirigiéndose a la superinteligencia,

pero no solamente en cabeza de unas máquinas que reemplazarán al ser humano, como dicen muchas de las teorías de conspiración, sino que lograrán hacer los procesos más inteligentes y diferenciar los beneficios y experiencias que tiene los clientes de los agentes financieros. Aunque esto es un proceso que se incrementará, lo que se necesitan son estructuras que integren la inteligencia artificial y la inteligencia natural hacia la emergencia de una nueva inteligencia, una superinteligencia.

### **4.3 Buscando el espacio-tiempo cuántico**

Cuando los banqueros vieron la necesidad de ejecutar con mayor velocidad sus decisiones empezaron a hacer inversiones que permitieran aprovechar los avances de la tecnología, aunque algunos emprendedores y científicos como Nikola Tesla no obtuvieron resultados inmediatos ni un financiamiento permanente, pues Jack Morgan hijo de JP Morgan cortó el abastecimiento de recursos que desde años atrás su padre había entregado para fortalecer los proyectos tecnológicos de Tesla<sup>78</sup>. Sin embargo, la inversión en los emprendimientos tecnológicos facilitó que algunos proyectos vieran la luz y avanzaran hacia territorios desconocidos para los inversionistas y fascinantes para los científicos, pero también fue la razón para que muchos gobiernos tuvieran que financiar los procesos de invención e innovación tecnológica para entender situaciones que no eran fácilmente descifrables o lograr posiciones de poder en el contexto internacional, algo que no es diferente en el siglo XXI. Después de muchos subsidios y grandes sumas de dinero, la transformación de la tecnología llevó a que se redujeran los tiempos, no fue que los minutos tuvieran menos segundos, sino que la espera de la carta ya era una situación del pasado, las llamadas telefónicas eran una oportunidad para comunicarse, pero limitadas por el tiempo de

---

<sup>78</sup> Respuesta de Jack Morgan con fecha del 25 de noviembre de 1914 en respuesta a la carta de Nikolas Tesla del 23 de noviembre de 1914. J.P. Morgan Jr. Papers: Box 80, Folder 80:262-A. Archives of The Pierpont Morgan Library, New York.

transmisión. Entonces, fue cuando se crearon máquinas que brindaron la posibilidad de descifrar enigmas que la inteligencia natural no lograba descifrar con la misma cantidad de tiempo, era el momento de Alan Turing, quien logró descifrar la cotidianidad de una guerra sangrienta y devastadora, para después, con la llegada de otros científicos, se confrontaran los límites del tiempo y del espacio, como lo hizo John von Neumann. Pero ¿la superinteligencia requiere de unidades de tiempo más cortas y espacios más pequeños?

La tecnología se ha caracterizado por hacer más eficientemente las labores y por eso cuando se inició la inteligencia artificial, el propósito era optimizar el tiempo de cálculo y mejorar el de los humanos, pero hasta ahí se presentaba una posibilidad de tiempo, pero no de espacio. Igualar la inteligencia natural requería de grandes espacios y volúmenes de energía, que poco a poco se han reducido, logrando acercar a la humanidad a temporalidades cada vez más cortas para un cierto grupo de actividades y procesos. Entonces, los segundos se convierten en grandes temporalidades que reflejan lo inmenso que es el tiempo en las manecillas de un reloj, pero que fuera de él, puede mostrar unidades tan pequeñas que la inteligencia natural no los concibe como parte de su tiempo cotidiano. Desde el milisegundo ( $10^{-3}$ s) hasta el yoctosegundo ( $10^{-24}$ s), la ciencia ha encontrado en estas temporalidades, universos completos de interacciones que conducen a que los científicos se interesen por los eventos que ahí puedan suceder. Para esto, la inteligencia artificial y todas las estructuras del aprendizaje automático se convirtieron en herramientas para lograr que muchas actividades cotidianas puedan optimizar el tiempo de realización, pero también encontrar limitantes a la continuidad del tiempo.

Al buscar reducir los tiempos de ejecución, la inteligencia artificial presiona para que actividades como las realizadas por los agentes financieros puedan hacerse más rápidamente, pero más allá de enmarcarlo como un adjetivo de velocidad, es la implicación que tiene para el ecosistema

financiero de pasar de temporalidades humanas a temporalidades atómicas, pero adentrándose no solamente en un espacio-tiempo cuántico en el que se podrá superar la más mínima unidad de tiempo al punto de acercarse a superponer el pasado, el presente y el futuro, sino en un desgaste de la estructura del ecosistema financiero. No solamente es acercarse a un escenario cuántico sino adentrarse en la cuarta ley de la termodinámica, que establece que el desgaste de la materia lleva a que la computación digital no logre superar los límites de espacio y tiempo. Por eso, la búsqueda del espacio-tiempo cuántico puede ser beneficiosa para la computación cuántica, pues se podrán realizar operaciones de manera mucho más eficiente que la computación convencional que siguen siendo partícipes del tiempo tradicional por más corta que sea la temporalidad. Es ir de los bits a los qbits, pasar de un estado dimensional de 1 o 0 a uno multidimensional donde puede ser 1, 0 o 0 y 1 a la vez.

Pensar en el espacio-tiempo cuántico puede dejar de ser una historia de ciencia ficción y posiblemente permita integrarse con el futuro, como resultado de la transformación tecnológica y en la que el ecosistema de la inteligencia artificial puede conducir a que el tiempo se diluya de la forma en que el espacio lo puede hacer con las transformaciones digitales y virtuales. Este tiempo podría llevar a que el Rey Raivata Kakudmi en la mitología hindú, a que Abimelec en la religión cristiana o a que Urashima Taro en la cultura japonesa se integraran fácilmente con el tiempo futuro sin haber dejado el presente y lograr desarrollar sus acciones en dos momentos del tiempo. Es decir que, ¿el tiempo y el espacio en el ecosistema financiero computacional van a desarrollarse en otro tipo de dimensiones? Aunque esto no es del todo claro, sí es factible que se esté entrando en una era en la que varios ecosistemas deben convivir en ecosistemas computacionales para lograr sortear los cambios que se están dando y que se avecinan con las transformaciones tecnológicas, así como con las transformaciones inesperadas o súbitas.

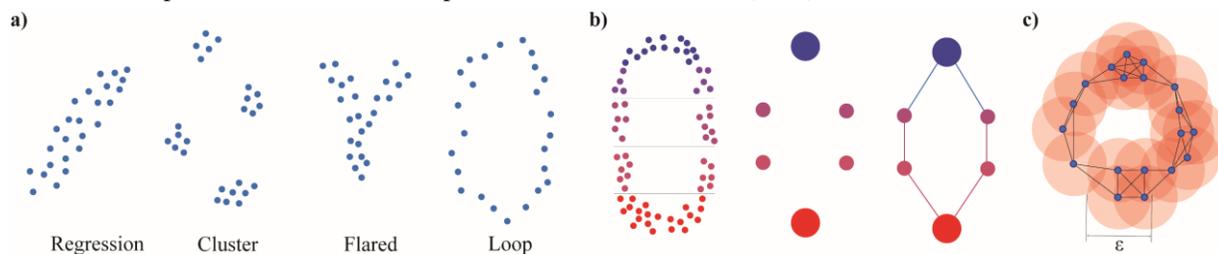
Los datos de los que se habla en la primera sección empiezan a tener una particularidad y es que son datos en cualquier lugar, en su gran mayoría son datos abiertos y muchos están localizados en un repositorio digital en cualquier lugar del mundo, lo que permite que un agente humano o no humano desarrolle algún proceso analítico sin tener que solicitarlo en una biblioteca, en un archivo de cajas polvorientas o en una entidad gubernamental local o de otro país en la que después de viajar en diferentes medios de transporte para hacer una solicitud y tomarse el tiempo para esperar que esta sea aceptada, usted podrá ver la información. Aunque en los archivos históricos uno puede viajar en el tiempo sin perder el lugar en el que se encuentra, su imaginación es la que le permite recrear la situación y su inteligencia natural permitirle descifrar algunos elementos y llegar a algunas conclusiones, pero nunca sin salir de un pequeño espacio vigilado por cámaras y guardias para que usted no extraiga ningún documento.

No obstante, el tiempo seguirá siendo relativo, porque cada persona que viaja a su manera experimenta un flujo de tiempo diferente que los demás, quienes también viajan de manera diferente. Como menciona Thorne (1994), Einstein establecía la variedad del tiempo como algo más acorde a la física del universo y, a partir de esta característica, la infraestructura computacional se ha volcado hacia una forma nueva de definir el espacio y el tiempo de los datos. No hace referencia al momento y el lugar donde se generaron los datos, sino donde estos están situados, para que rápidamente se puedan acceder y construir decisiones sobre ellos en cualquier lugar. Las matemáticas, a través de las herramientas de la topología y la geometría, han apoyado la construcción de herramientas que permiten identificar las características de los datos a través del

análisis topológico de los datos<sup>79</sup>, pues cada día los datos disponibles son más abundantes lo que dificulta la identificación de las fuentes y su uso adecuado (Carlsson, 2009),.

Es así como la computación en la nube es otro elemento que podría convertirse en un viaje en el tiempo, en ser casi un agujero de gusano (Figura 4.3)<sup>80</sup> en el que los agentes humanos y no humanos podrían desplazarse hacia adelante y atrás en el tiempo sin abandonar un ecosistema computacional, pero obteniendo datos de diferentes momentos y espacios; es el viaje de Alicia a

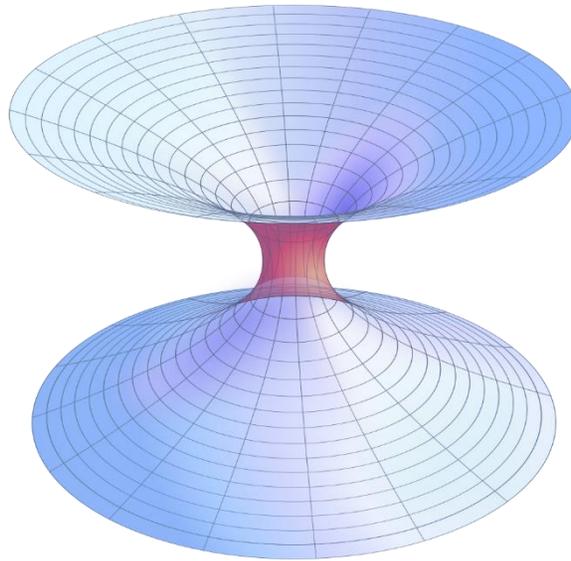
<sup>79</sup> El análisis topológico de los datos (TDA por sus siglas en inglés) usa la topología, la geometría y el aprendizaje automático para inferir información cualitativa y cuantitativa sobre la estructura de los datos (Carlsson, 2009). Es así como la forma de los datos es parte de la complejidad estructural de los mismos, pero ayuda a identificar la mejor opción para usar y clasificar las fuentes de datos pues, los datos pueden asumir diferentes formas que se presentan en la figura a. Para resolver esta situación se pueden utilizar varios mecanismos, algunos de ellos alineados con varias de las herramientas desarrollados en la tesis como son la construcción de redes y la homología persistente. En el primero, se definen los datos como puntos aleatorios y se construye una red para definir algunas medidas de los conjuntos de datos como la distancia, la centralidad y la densidad que permiten identificar las mejores opciones de conjuntos de datos (Figura b). La distancia refleja características en común entre cualquier par de conjuntos de datos (nodos), la centralidad la relevancia del grupo de datos y la densidad describe la porción de las conexiones potenciales que podrían existir entre un par de nodos. Para una ampliación, véase: Wasserman (2018).



En el caso de la homología persistente, se representan los conjuntos de datos como una nube de puntos en un gráfico y para conectar los diferentes puntos se define un parámetro de escala  $\varepsilon$ . Con este parámetro, dibujamos una bola alrededor de cada punto, es decir, para calcular la forma de los datos se requiere una secuencia de parámetro de escala creciente  $\varepsilon$ . En consecuencia, dos bolas se cruzan cuando dos puntos no están más separados que el parámetro de escala definido  $\varepsilon_1$ , en cuyo caso conectamos dos puntos con un borde, los cuales crean complejos simpliciales (ver Figura 3.9). Si esta secuencia continúa con radios crecientes del parámetro de escala:  $\varepsilon_1 \rightarrow \varepsilon_n$ , se logra identificar la persistencia de ruido o de características significativas (Figura c), que facilitan el entendimiento de los patrones en los conjuntos de datos. Para una ampliación de la homología persistente, véase: Otter, et al. (2017) y sus referencias.

<sup>80</sup> Un agujero de gusano, nombre dado por el físico teórico John Wheeler en 1957, también conocido como puente de Einstein-Rosen, es una hipotética característica topológica de un espacio-tiempo en física desarrollada a partir de 1916 por Ludwig Flamm y Karl Schwarzschild, cuando este último desarrollaba sus teorías sobre agujeros negros. Esencialmente consiste en un atajo a través del espacio y el tiempo, que se basan en posibles túneles en el continuo espaciotemporal, los cuales podrían comunicar hiperespacialmente e hipertemporalmente a diversas zonas del universo. Técnicamente, un agujero de gusano tiene por lo menos dos extremos conectados a una única garganta (tubos unidimensionales por Hermann Weyl) a través de la cual podría desplazarse la materia, la cual abreviaría las distancias y los tiempos de viaje, siempre y cuando se identifique una cuarta dimensión espacial dado un cuerpo toroidal en el que se pueda encontrar las tres dimensiones espaciales comúnmente perceptibles. Véase: Kardashev et al., (2007); Kaku (2008); Raine & Thomas (2010); James et al., (2015); Prat-Camps et al., (2015).

través de los diferentes mundos múltiplemente conexos que se conectan a través de un espejo,<sup>81</sup> pero que en este caso permitirían construir una nueva forma de interactuar, en la que el tiempo será visto de una forma diferente y en la que la sinapsis de la inteligencia artificial y natural permitirá crear una ecología financiera diferente a como se ha conocido hasta el momento.



**Figura 4.3. Agujero de Gusano.**

Fuente: Raine & Thomas (2010).

Los espacios físicos de los agentes financieros serán parte del pasado o tendrán que reevaluarse (Granados, 2018) y, en la que en algunas interacciones serán propias de ecologías artificiales y virtuales, porque los agentes no sabrán en qué lugar se encuentran sus datos ni que tipos de códigos identifican sus transacciones y mucho menos que para interactuar con los agentes financieros sea necesario un espacio físico. Aunque algunos agentes financieros siguen viendo el espacio físico como lugar de algunas interacciones financieras, posiblemente sea cuestión de años para que esto

---

<sup>81</sup> Los mundos múltiplemente conexos hacen referencia a que diferentes regiones de espacio y tiempo están enlazadas, pero para esto deben existir agujeros que permitan su conexión.

cambie. Entonces, el ecosistema financiero computacional que se desprende de la interacción de la inteligencia artificial y natural podrá llevarse a un estado en el que se superarán todas las expectativas de los microsegundos ( $10^{-6}$ ), los nanosegundos ( $10^{-9}$ ) y los yoctosegundos ( $10^{-24}$ ), pero logrará mantenerse en un ecosistema computacional que aún no conocemos y que será parte de una nueva percepción del espacio-tiempo, o mejor aún, el desvanecimiento de los conceptos de tiempo y espacio como entidades separadas (Quirantes, 2015). Para algunos, el ecosistema financiero pudiera convertirse en Lucy, un supercomputador que dominaría a la humanidad en el guion escrito por Luc Besson y producida por Virginie Besson-Silla (2014); eso tampoco lo sabemos, pero claramente si existe un cambio radical en la estructura del ecosistema financiero que nos lleva a definir una tercera emergencia: la nueva topología y geometría de un ecosistema financiero computacional. En la próxima sección se hace una aproximación de algunos elementos que hace que los cambios en el tiempo y espacio nos acerquen a buscar una nueva estructura del ecosistema.

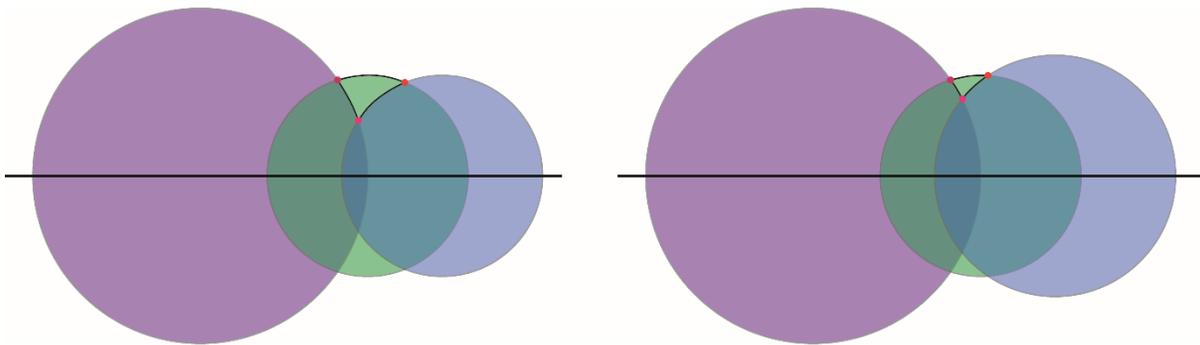
#### **4.4 Una tercera emergencia**

En los ecosistemas tradicionales es factible definir fácilmente los espacios topológicos, ya que estos se convierten habitualmente en espacios simplemente conexos, es decir, son objetos que no contienen agujeros que los atraviesan, lo que define que entre todo par de puntos los caminos que los conectan son homotopos entre sí o, en otras palabras, que sólo existe una forma de conectar con un camino cualquier par de puntos del espacio topológico. (Bredon, 1993; Prieto de Castro, 2013). Los ecosistemas financieros y, en general, el ecosistema financiero global pueden presentar diferentes características que facilitan su interpretación estructural o lo pueden hacer cada vez más complejo, especialmente, cuando las transformaciones tecnológicas lo conducen a que las temporalidades sean diferentes y puedan traslaparse tiempos si se llegara a establecer el ecosistema

financiero computacional como un resultado único de la computación cuántica; pero también, si sus espacios de acción difieren y se integran a dimensiones no conocidas dentro de las actividades financieras. Por esta razón pueden ser espacios conexos o conectables a través de trayectorias, las cuales varían en los escenarios digitales y por ende en los ecosistemas computacionales.

Si se percibe como un espacio simplemente conexo necesariamente se debe integrar con el concepto de la hipótesis de Poincaré. Este concepto sostiene que la esfera tetradsimensional, también llamada 3-esfera o hiperesfera, es la única variedad compacta cuatridimensional en la que todo lazo o círculo cerrado, es decir, 1-esfera, se puede transformar en un punto, en otras palabras, sólo hay una variedad cerrada y simplemente conexa de dimensión 3: la esfera cuatridimensional (Weisstein, 2002). ¿Por qué integrar una hipótesis que duró en resolverse más de cien años y que hasta hace pocos continuaba siendo una paradoja? y ¿por qué es importante para el ecosistema financiero computacional? Primero, porque es posible que los espacios topológicos en los que funcione el ecosistema financiero basado en la sinapsis de la inteligencia artificial y la inteligencia natural no se desarrollen en una sola dimensión y, posiblemente, tampoco en dos; de la misma forma cuando se integre la computación cuántica al ecosistema financiero posiblemente se activen más dimensiones. Para profundizar en la explicación de esto, se utiliza el ejemplo tradicional de si se estira una banda elástica alrededor de la superficie de una manzana esta se puede encoger hasta un punto moviéndola lentamente, sin romperla y sin permitir que salga de la superficie. Si se hace el mismo ejercicio en el ejemplo tradicional de la topología sobre la superficie de una rosquilla, no hay forma de encogerla hasta un punto sin romper la banda elástica o la rosquilla. Se dice que la superficie de la manzana está “simplemente conectada”, pero que la superficie de la rosquilla no lo está.

Entonces, ¿cómo identificar al ecosistema financiero computacional que se desprende del tiempo hacia una estructura cuántica o por lo menos hacia micro temporalidades? Para resolver esta pregunta es necesario definir el Disco de Poincaré, el cual es un modelo de geometría hiperbólica en el que una línea se representa como un arco de un círculo cuyos extremos son perpendiculares al límite del disco. Dos arcos que no se encuentran corresponden a rayos paralelos, los arcos que se encuentran ortogonalmente corresponden a líneas perpendiculares y los arcos que se encuentran en el límite son un par de rayos límites (Weisstein, 2002)<sup>82</sup>.

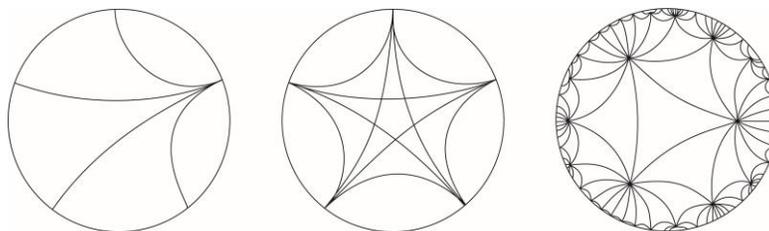


**Figura 4.4. Triángulos hiperbólicos.**

En la Figura 4.4 se hace una demostración de un triángulo hiperbólico a partir de la variación de los radios de los discos, lo que permiten identificar de una manera diferente la transformación que

---

<sup>82</sup> Matemáticamente, el disco de Poincaré se define como un espacio bidimensional que tiene una geometría hiperbólica definida como el disco  $\{p \in \mathbb{R}^2: |p| < 1\}$ , con una métrica hiperbólica definida por:  $DS^2 = \frac{Dp^2 + Dq^2}{(1-p^2-q^2)^2}$ , donde la función de distancia se define para cualquier conjunto de dos vectores de norma inferior a uno y ese conjunto forma un espacio métrico que es un espacio hiperbólico de curvatura constante  $-1$ . El modelo tiene la propiedad que el ángulo entre las dos curvas que se intersecan en el espacio hiperbólico es el mismo que el ángulo en la red y se mantiene la misma condición aún si se incrementa la recurrencia.

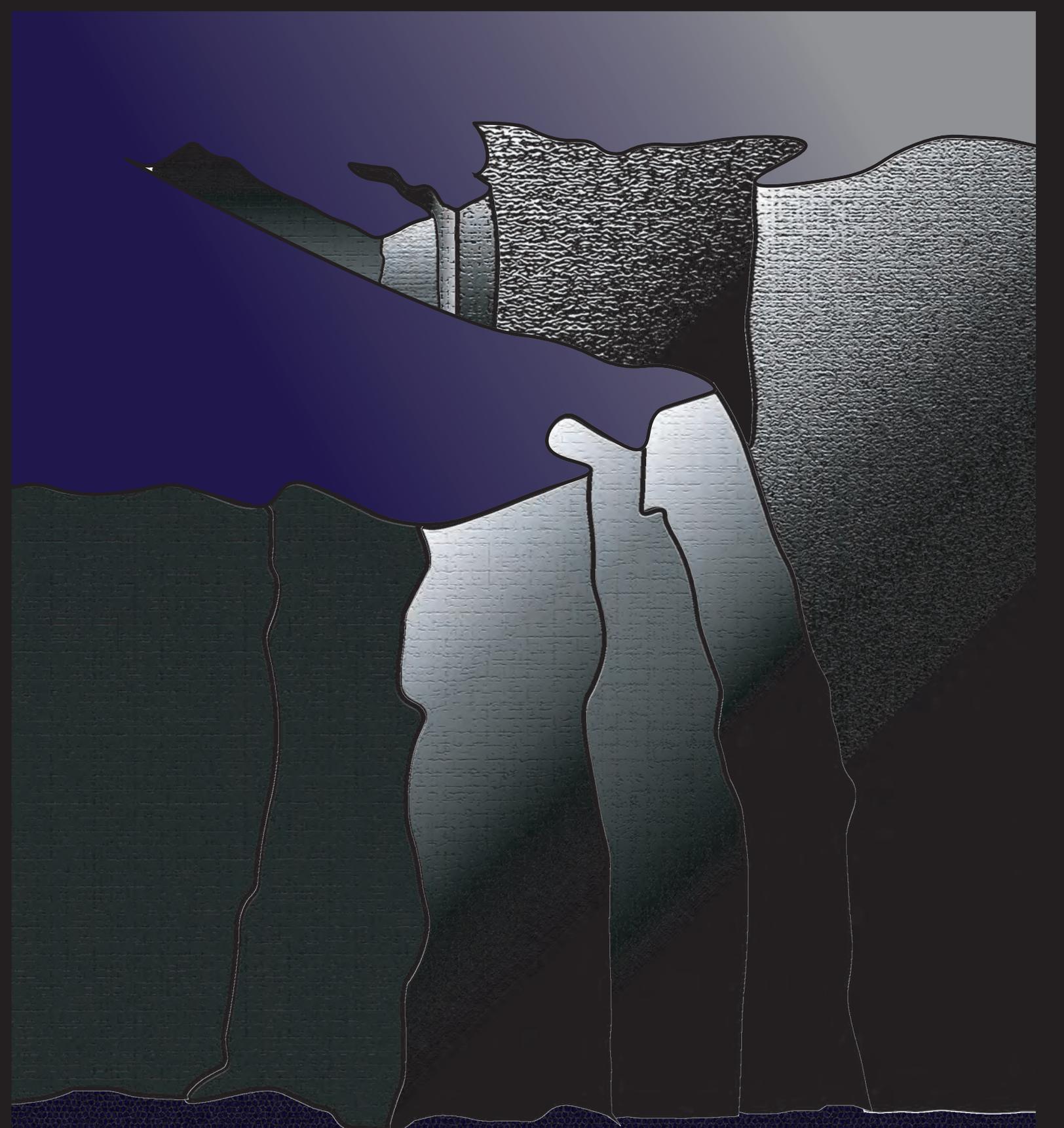


tienen los planos hiperbólicos utilizando otras metodologías, pues los tres arcos de recta hiperbólica que determinan dichos puntos formar un triángulo a partir de las diferencias que puedan existir en el radio de cada uno de ellos.

A este disco volveremos más adelante cuando viajemos a Kazán. Finalmente, se podría identificar una estructura topológica muy diferente si el espacio de interacciones del ecosistema financiero computacional llegase a la computación cuántica mucho más allá de una estructura que integra la inteligencia artificial y la inteligencia natural. Posiblemente sea una especulación en la segunda década del siglo XXI, por un lado, porque se podrían presentar atajos topológicos de espacio-tiempo que cambiarían conceptos tales como la causalidad (Sabín, 2017), pero que también podrían recrearse espacios múltiplemente conexos que definan un ecosistema financiero computacional muy diferente al que ha conocido la humanidad, generando como resultados la evolución temporal de los estados de red cuántica y definir las transiciones de fase que se den como resultado de la emergencia del ecosistema financiero computacional<sup>83</sup>. Para resolver esto, en el siguiente capítulo se desarrolla un modelo sobre la geometría hiperbólica que sustenta varios de los argumentos presentados en esta sección que permiten identificar los patrones de la emergencia del ecosistema financiero computacional.

---

<sup>83</sup> Para una mayor profundización, véase: Konopka et al., (2008); Bianconi & Rahmede (2015) y Bianconi et al., (2015).



5

**Alumbrando la oscuridad de un abismo**

## 5 Alumbrando la oscuridad de un abismo

En el piso treinta de un nuevo edificio de una ciudad de Eukaryote, una empresa financiera exaltaba sus nuevas y ostentosas oficinas y, mientras el socio principal leía el discurso de inauguración de su nueva sede, algunos otros socios comentaban su incomodidad por el nombre que había adoptado el edificio, así como el letrero en el último piso. Uno de los socios decía: “es una empresa de tecnología” y otro le respondía: “le hace perder estatus a nuestro edificio”. Era una época en la que los agentes financieros consideraban que eran los más importantes agentes de las actividades económicas, sin embargo, para la siguiente crisis, esta empresa financiera había dejado de existir y la empresa tecnológica se consolidó como una de las empresas más grandes en su área y en los últimos meses anunció su nueva división para la prestación de servicios financieros.

Entonces, los escenarios futuros e inciertos que se avecinan para los agentes financieros en un ecosistema computacional que emerge constantemente son diversos y requieren de una mayor capacidad de simulación para definir los impactos de las transformaciones tecnológicas y súbitas y, a su vez, aquellos que surgen de la emergencia del ecosistema en sí. Es tener una mayor claridad para iluminar un abismo cada vez más profundo, porque la emergencia del ecosistema financiero global computacional puede ser tan variada que requiere de una amplia posibilidad de escenarios y simulaciones. En los capítulos anteriores se establecieron varios elementos que fundamentan lo que son las redes en un sistema complejo, las cuales permiten definir las ecologías artificiales como parte de una estructura que no es propia de las interacciones de la naturaleza sino más bien de algo que se desprende de un proceso creado artificialmente, en el que los agentes financieros evolucionan hacia espacios que se desprenden de lo físico hacia lo digital y en la que las unidades de tiempo utilizadas son más pequeñas y se acercan a lo que podemos considerar como estructuras cuánticas; en las que se fusionan el espacio y el tiempo pero que no rompen con los vínculos de

las redes financieras. Es así como, los agentes financieros son cada vez menos dependientes de lugares determinados o de horarios fijos, es decir, se desterritorializan, son cada vez más virtuales, siendo capaces de generar varias conexiones en diferentes momentos y lugares, sin estar por ello unidos a un lugar o a un tiempo particular (Lévy, 1995). En otras palabras, las transacciones financieras acentúan cada vez más el carácter virtual que las ha caracterizado paulatinamente en las últimas tres décadas.

Habitualmente, las tres dimensiones han sido aceptadas, pero desde el siglo XIX se plantearon propuestas sobre el significado de la geometría de cuatro y más dimensiones, donde el “hiperespacio” n-dimensional se convierte en una nueva herramienta de análisis (Crilly, 1999). Así mismo, la simulación y la definición biológica de la evolución del ecosistema requieren integrar varios elementos para proponer un modelo que caracterice la variedad de posibilidades que se pueden gestar. Entonces, ¿cómo se incorporan las transformaciones tecnológicas y la inteligencia artificial en el ecosistema financiero computacional?, ¿cómo sus procesos evolutivos definen nuevas topologías del ecosistema que permitan un mayor número de interacciones humanas y no humanas entre los miembros de los diversos agentes financieros? y ¿cómo muchos de los agentes no financieros se incorporan a las actividades financieras en microtiempos?

A continuación, se plantean los métodos para realizar los procesos de simulación del siguiente capítulo. El capítulo se desarrolla así: en una primera sección se incorporan los elementos principales de la modelación basada en agentes, la cual permite entender los procesos de interacción y sus aspectos dinámicos para trazar un puente con el sistema de agentes y los algoritmos evolutivos de la siguiente sección. En la tercera sección, se desarrolla un modelo para entender la dinámica del ecosistema que captura la aptitud analizada anteriormente y la integra a las transformaciones tecnológicas, las cuales permiten interactuar en microtiempos. En la última

sección, se complementan los conceptos de la geometría hiperbólica desarrollados en el capítulo anterior y se trasladan los agentes y sus interacciones a espacios hiperbólicos.

## **5.1 Preparando a los nanoagentes**

Para ser un agente es necesario un entrenamiento en varias capacidades que hace que muy pocos puedan ejercer su capacidad de agencia en diferentes lugares o situaciones. Habitualmente, los seres humanos se han caracterizado por tener una capacidad de agencia en la mayoría de los espacios, pero ¿qué sucede con los agentes financieros como organizaciones conformadas por agentes humanos, no humanos o aquellos que son una combinación entre humanos y no humanos? Si se comparan los agentes financieros con los agentes de los libros de Ian Fleming, estos han mostrado unas capacidades distantes de las habituales de cualquier ser humano y aunque tienen una cercanía con los humanos como lo demuestra Michael Beckner en su guion de la película *Juego de Espías* dirigida por Tony Scott y producida por Douglas Wick y Marc Abraham (2001), es necesario determinar unas cualidades que establecen que los agentes en el futuro tendrán capacidades muy cercanas a los agentes de la ficción o, posiblemente, de una realidad que no es del acceso de todos. Pero antes de ser un proceso individual de agentes como Jason Bourne, James Bond, Jack Ryan, Lorraine Broughton o Andy Osnard, es decir, una agencia personal directa o una agencia de representación que depende de que otros actúen en la medida de lo que define un agente para asegurar los resultados deseados (Bandura, 2001), lo que sucede es una expansión hacia sistemas multi-agentes cercanos al grupo de Ethan Hunt en *Misión Imposible* o el grupo de Sam en *Ronin*. Estos sistemas tienen mayores capacidades de resolver las situaciones como un proceso colectivo que surge de las capacidades de los agentes inteligentes y de un esfuerzo coordinado e interdependiente. En otras palabras, un agente es parte de un espacio que no logra percibir en su

totalidad los diferentes elementos del entorno pero que a su vez puede afectarlo directamente o a través de la acción con otros agentes (Luger, 2009).

Un agente se convierte en un solucionador de problemas con cuatro características fundamentales como argumenta Tarvid (2016): primero, que reacciona a las señales del entorno y que esas reacciones pueden cambiar el entorno, segundo, que tiene la capacidad de controlar sus acciones y que puede actuar sin la posibilidad de ser manipulado por otros agentes, tercero, que puede interactuar con otros agentes. Cuarto, un agente responde, adicionalmente a las señales del entorno, a sus propias acciones que le permitan alcanzar sus objetivos y definir nuevas señales en el futuro. ¿Pero qué sucede cuando nuestros agentes deben mutar para interactuar en unidades de tiempo más pequeñas? Posiblemente tenga que ser una tarea desarrollada por Q, el innovador asistente de James Bond, pero realmente es un resultado en el que emergen nuevas situaciones y, además, emergen nuevos agentes que no son el resultado del trabajo de la división Q, sino por la evolución y adaptación de los agentes a estas escalas de tiempo. Hace unos años, el modelo 101 de Terminator podría compararse con el agente minuto, después fue reemplazado por el agente segundo, equivalente al modelo T-1000, y en los últimos años como resultado de la singularidad tecnológica, que en ocasiones se convierte en una abrumadora campaña de publicidad liderada por Dorchin en *The Tunnel under the World* o Don Draper de *Mad Men*, se han reemplazado por los mili-agentes y rápidamente se están creando nuevos grupos de agentes como los micro, los nano, los pico, los femto, los atto, los zepto y los yocto. Es un proceso que requiere de la precisión matemática para entender su futuro, porque, así como el entorno es dinámico, el comportamiento de los agentes es dinámico y aún más cuando un agente financiero es un ecosistema en sí mismo donde interactúan agentes humanos y no humanos.

Un modelo basado en agentes (ABM) es un modelo computacional orientado a objetos que permite analizar un sistema social que consiste en un conjunto de actores autónomos, interactivos, orientados a objetivos, acotados y racionales, identificado por  $A$ , que usa un set de reglas  $R$  y un entorno  $E$  en el que están situados los agentes (Cioffi-Revilla, 2014; Tarvid, 2016). Para nuestro caso, los agentes hacen referencia a los agentes financieros que a su vez esta conformados por otros tipos de agentes humanos y no-humanos, el entorno es el ecosistema financiero global y el set de reglas son los parámetros regulatorios definidos para los diferentes sistemas financieros que conforman el ecosistema financiero. Este set no se define como el único set de reglas, sino que se abre a diferentes sets que se fundamentan en la característica dinámica propia del ecosistema financiero, así como de la capacidad de adoptar y adaptarse a las transformaciones tecnológicas y los diversos procesos que emergen al implementar las tecnologías en las transacciones financieras. El agente financiero  $i$  empieza a interactuar en el momento  $t_0$  y de ahí en adelante el comportamiento dinámico de los agentes se basa en un estado inicial  $s_0$ . Aunque es un supuesto fuerte dentro de cualquier sistema dinámico, nos sirve para identificar un punto de partida, ya que, sin importar la escala de tiempo, el siguiente momento es  $t_1$ , el cual está determinado por el set de reglas y el impacto que tiene este sobre la situación individual de cada uno de los agentes financieros. En este caso, al igual que en cada una de las redes construidas en los capítulos anteriores, el agente financiero  $i$  es autónomo, es consciente de su propio estado, de su situación en el entorno en el que interactúa, de su capacidad de reaccionar ante cambios en el entorno y los demás agentes, pero también de su comportamiento flexible que surge de sí mismo, es decir, su comportamiento se sustenta sobre sus objetivos, la información a la que tiene acceso y sus propias decisiones (Luger, 2009). Entonces, los agentes financieros son heterogéneos, pero no asociales, lo que facilita la comunicación e interacción entre ellos, así como la definición de patrones de

comportamiento; aunque estos elementos podrían identificarse en un modelo determinístico, pero en este caso surgen varios elementos estocásticos, pues el subsiguiente estado en que puede estar un agente se determina tanto por las acciones predecibles del proceso como por elementos aleatorios, es decir, una secuencia de situaciones que varían al transcurrir el tiempo.

Esta modelación integra las interacciones de los agentes financieros, pero también los fenómenos propios de las interacciones humanas y no humanas que se dan al interior de ellos, los cuales pueden surgir en parte de la sinapsis de las inteligencias, pero también de lo impredecible que son las interacciones. En otras palabras, es la dinámica de la interacción entre agentes humanos y no humanos dentro de un agente financiero  $i$ , que a su vez interactúa con otros agentes financieros  $j$ , dando como resultado la creación de una estructura artificial que surge de una esfera de la actividad y la construcción humana, como son las finanzas, e incorpora una perspectiva dinámica y evolutiva al integrar las transformaciones tecnológicas, las cuales definen el entorno como una estructura computacional. En otras palabras, este ecosistema puede modelarse con esta metodología como si fuera el resultado de una sociedad artificial (Epstein & Axtell, 1996), en la que se integran los algoritmos genéticos propuestos en la sección 5.2 y la inteligencia artificial planteada en el capítulo anterior, así como la vida artificial y la computación evolutiva como parte del conjunto de reglas. Volviendo a la preparación de los nanoagentes, es necesario identificar en qué lugar interactúan ellos. Los agentes financieros se dirigen hacia la consolidación de sus interacciones en espacios virtuales y digitales, lo que determina que la modelación se basa sobre un sistema que se desarrolla en un espacio computacional y no en un espacio físico tradicional, es decir, se define como un entorno artificial (Cioffi-Revilla, 2014). Esto se confirma con el uso de microtiempos, en la que los escenarios físicos tradicionales tienden a desaparecer y nos acercamos a la integración del espacio-tiempo en escenarios sociales cada vez más complejos. Pero ¿se podría definir que este

entorno artificial reduce la entropía o realmente la incrementa? Algunos autores como Cioffi-Revilla (2014) mencionan que los sistemas artificiales generan más orden al usar los recursos que es lo contrario del desorden termodinámico, pero ¿qué sucede cuando las transformaciones tecnológicas alteran el estado de equilibrio del sistema financiero global? Aunque esto no se resuelve en esta sección, la modelación basada en agentes lo tiene en cuenta para definir adecuadamente un modelo que caracteriza un sistema complejo adaptativo, ya que el ecosistema financiero computacional tiene unos agentes que al interactuar se adaptan o aprenden y cuyas propiedades a nivel macro emergen de las interacciones entre ellos y pueden retroalimentar para influir en el desarrollo posterior de esas interacciones (Levin, 1998; Holland, 2006).

Otro aspecto es el set de reglas, el cual no se puede articular de manera general y mucho menos de manera global porque el ecosistema financiero atiende en primera instancia a las reglas locales que se definen para la articulación de los sistemas financieros en cada uno de los países y, a partir de esto, emergen reglas que se sustentan globalmente e influyen en todo el ecosistema. Aunque esto solamente es necesario para articular el modelo, de cierta forma se acerca a la realidad del ecosistema de principios de la década de 2020 y que posiblemente se acerque cada vez más a una unificación de las reglas locales por la misma emergencia que está teniendo el ecosistema; es algo que se fundamenta en que las microestructuras pueden generar macro comportamientos<sup>84</sup>. Por otro lado, las transformaciones tecnológicas se convierten en un set de reglas que tienden a ser simultáneas y globales debido al acceso e implementación que tiene un agente financiero *i*. Estas reglas se definen para las interacciones entre los agentes, para los efectos de las condiciones del

---

<sup>84</sup> Las microestructuras que se definen en entornos locales o en interacciones entre pocos agentes pueden conducir a que los resultados tengan implicaciones que van más allá de su entorno e influyen en otros entornos al punto de generar comportamientos que se estandarizan entre los demás agentes. Para una ampliación, véase: Schelling (1978).

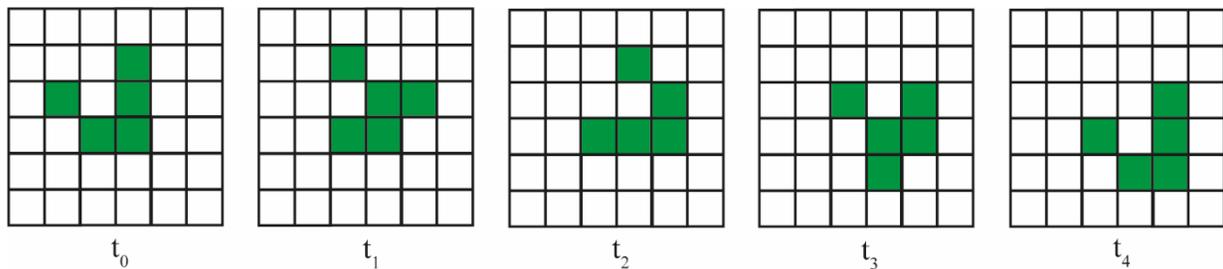
entorno sobre los agentes y para aquellas que integran diversos mecanismos que pueden afectar al entorno y a los agentes.

Pero como en todo grupo de agentes, cada uno tiene sus particularidades, por eso en la modelación basada en agentes existe una heterogeneidad que hace que cada agente sea modelado individualmente debido a que tienen acceso a diferentes recursos e información, así como a la independencia de su comportamiento (Axtell, 2000; 2007; Bankes, 2002). Aunque existen varias opciones básicas de modelación de agentes, como autómatas celulares y simulaciones a nivel micro o sistemas dinámicos a nivel macro, a continuación, se presenta un ejemplo que facilita la definición de algunos elementos útiles para la construcción del modelo.

El autómata celular es un modelo discreto compuesto de agentes, que realizan una variedad de funciones de acuerdo con un conjunto predeterminado de instrucciones codificadas y, habitualmente, su entorno se establece como una cuadrícula en el que se distribuyen a los agentes modelados en cada una de sus celdas. En un modelo básico, los agentes tienen un solo atributo cuyos valores dependen de manera determinista de los valores de este atributo en los agentes ubicados en las celdas vecinas (Tarvid, 2016). La dependencia de los atributos de las celdas vecinas puede considerarse como el efecto de las conexiones de red, teniendo en cuenta que existe una dependencia con las celdas vecinas en la que sólo las interacciones locales afectan el estado del agente, igualmente, el vecindario que afecta al agente es fijo, lo que significa que la red también es fija. Esto puede ser ejemplificado con el juego de la vida de John Conway (ver Figura 5.1), el cual surge de una cuadrícula de 6x6 en la que cada agente tiene ocho celdas directamente vecinas y actualiza su estado (vivo o muerto) en función del estado de sus ocho vecinos bajo el siguiente set de reglas:

- Cualquier agente muere con menos de dos vecinos vivos, efecto aislamiento.

- Cualquier agente vive con dos o tres vecinos vivos.
- Cualquier agente muere con más de tres vecinos vivos, efecto sobrepoblación.
- Cualquier agente muerto con tres vecinos vivos se convierte en un agente vivo, efecto reproducción.



**Figura 5.1. Juego de la vida de Conway.**

Fuente: (Gardner, 1970)

El juego se desarrolla de manera iterativa y en cada momento  $t$ , los agentes investigan las celdas vecinas y se actualizan de acuerdo con el set de reglas. Entonces, cada momento  $t$  se establece como una generación de la población de agentes y las reglas se aplican repetidamente en cada generación. La propuesta de Conway, presentada por Gardner (1970) en la revista Scientific American en su sección de juegos matemáticos, da una primera señal de que el ecosistema computacional requiere de un grupo de agentes finito para avanzar y en el que la estructura de libre escala se limita a la capacidad de los agentes financieros. Aunque los modelos de microsimulación permiten que los atributos cambien, no siempre logran capturar la evolución que tienen los comportamientos de los agentes, algo que, si se logra con la modelación basada en agentes, ya que los agentes están representados computacionalmente como objetos que cuentan con un estado que puede ser cualquier dato que describa al agente (altura, peso, capital, etc.), a diferencia del juego de la vida en el que solamente hay dos estados (vivo o muerto). En ese orden, la modelación basada en agentes permite identificar un comportamiento detallado, agregando los efectos que tienen las

interacciones enriquecidas a nivel micro a través de las redes, así como la retroalimentación desde el nivel micro hacia el macro (Tarvid, 2016). En otras palabras, los agentes tienen información más allá del escenario local que puede ser transmitida por diversos canales y redes, emergiendo patrones de comportamiento, pero a su vez también significa que el exceso de detalles en la modelación puede afectar los resultados de la simulación (Abdou, Hamill, & Gilbert, 2012).

Es necesario definir un número de atributos que enriquezcan el modelo hasta el punto en que ingresar un nuevo atributo afecta la utilidad de este. Es identificar las características de evolución que tienen los agentes ante cambios diversos en los demás, así como en el entorno local y global. Por eso, es necesario acudir a Darwin, Holland y posiblemente a Watson y Church para revelar adecuadamente los procesos de evolución de los agentes.

## **5.2 Entre Darwin y Holland**

Charles Darwin al salir de Plymouth en Inglaterra en diciembre de 1831 y a bordo del barco de su majestad HMS Beagle, no se imaginó la diversidad de ecosistemas que podría encontrar en sus casi cinco años de viaje, que le permitió fundamentar que la mayoría de las especies surgían como parte de una selección natural. Un proceso lento que requería de la contextualización del entorno, algo que Darwin le costó identificar en cada uno de sus hallazgos, debido a que pasaron más de veinte años para que su obra fuera publicada. La definición de una especie de algoritmos también está sujeta a un proceso lento que se va ajustando a partir de los procesos evolutivos no solamente de la ciencia sino también de su aplicabilidad y, aunque, los algoritmos son simplemente un conjunto de instrucciones que se lleva a cabo de forma secuencial para lograr un resultado deseado, su emergencia y evolución, los ha llevado a convertirse en cualquier proceso de cálculo sistemático, que podría desarrollarse de manera automática (Chabert, 1994).

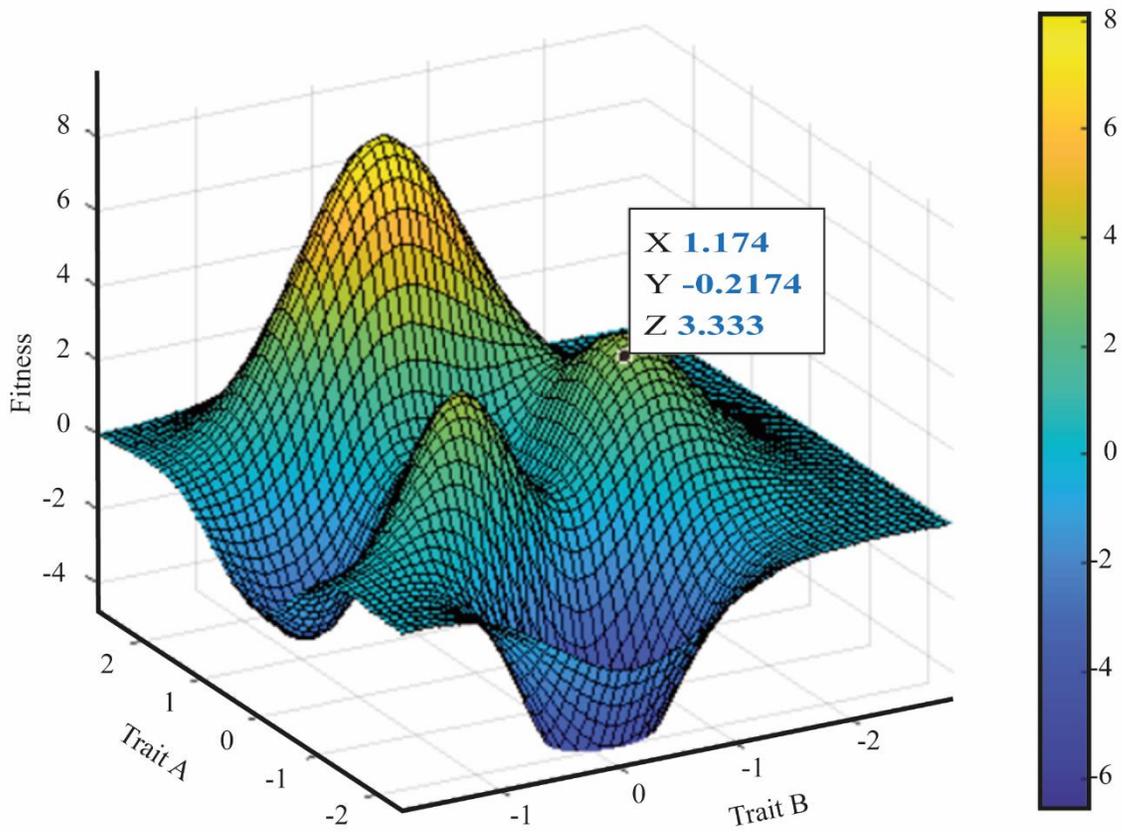
Es así como fueron evolucionando y se empezaron a utilizar en situaciones más difíciles y complejos, al punto que los algoritmos en sí se convirtieron en problemas complejos ya que requerían de una capacidad mayor de cómputo, almacenamiento y tiempo (Wilf, 1994). A partir de ahí, fue necesario identificar los elementos para que los algoritmos evolucionaran y estuvieran acordes con la complejidad creciente, ya que las situaciones habitualmente no son estáticas y requieren de una visión dinámica de transformación y cambio continuo o, por lo menos, de cambios paulatinos que se asemejan a tiempos discretos. Nuevamente fue necesario acudir al legado de Darwin con respecto al principio de la selección natural, el cual sirve para entender la adaptación para que las especies sobrevivan y, ante, una mayor capacidad de adaptación a las condiciones de los entornos, serán aquellas especies las que permanecerán en el ecosistema (Darwin, 1859; Bäck, 1996).

Entonces, ¿cómo se logran adaptar los algoritmos a la evolución de los agentes y los entornos?, ¿es necesario ir más allá de las mutaciones y la descendencia?, ¿será exclusivamente un proceso en el que los sobrevivientes son aquellos que tienen la capacidad de usar de una mejor manera los recursos del entorno? Como respuesta a estas preguntas, los algoritmos han acudido a la propuesta microscópica de la evolución<sup>85</sup>, la cual hace referencia a los mecanismos de herencia basado en los genes como unidades de transferencia, pero más que un proceso de adaptación es la maximización de la aptitud para optimizar una situación en cualquier tipo de entorno, es decir, se crea una adaptación que se ajusta al entorno, la cual no siempre será igual en todas las situaciones, lo que crea una diversidad de opciones como se presenta en la Figura 5.2, en la que la evolución se interpreta como un proceso de la maximización de la aptitud en un espacio determinado (Bäck, 1996; Wright, 1932). No obstante, esta propuesta surge como resultado de una articulación

---

<sup>85</sup> Esta propuesta conocida también como la teoría sintética de la evolución, hace referencia a la simbiogénesis y, aunque exista la selección natural, puede existir la transformación a partir del apoyo entre especies y la coexistencia.

matemática en la que las variables de selección natural, deriva genética y mutación se integraron para formular el principio de equilibrio de Hardy-Weinberg, que hace referencia a las condiciones bajo las cuales se mantiene el equilibrio evolutivo (Provine, 1977; 1986; Smocovitis, 1992). Esta era otra razón para visitar Kazán, en donde reposaba la investigación de Merezhkovski y con la que Margulis & Sagan (2000) establecieron que la autopoiesis, la reproducción y la evolución apenas abarcaban una parte de la totalidad de la vida.



**Figura 5.2. Superficie Adaptativa.**

¿Es el momento de salir de Eukaryote? Aunque salir de ahí es fundamental para entender la emergencia computacional de nuestra sociedad, es necesario identificar primero el tipo de algoritmos que nos acompañaran en nuestro próximo destino y, posteriormente, cómo estos se

integran con la computación evolutiva y ayudan a identificar la evolución de la simulación. De esta forma, los algoritmos evolutivos se convierten en una herramienta para fortalecer el argumento y entre ellos se encuentra los algoritmos genéticos, la programación genética, las estrategias y la programación evolutivas, los cuales se definen siempre sobre una población de agentes (Werner, 2013). El punto de partida es John Holland (1975), quien planteó los algoritmos genéticos con el propósito de resolver problemas de optimización y estudiar la autoadaptación en los procesos biológicos y, a partir de eso, desarrollar un procedimiento iterativo que habitualmente opera en una población de tamaño constante.

Para producir una nueva generación de agentes más aptos que interactúen en microtiempos, que van a predominar en el ecosistema financiero computacional, se debe buscar una serie de candidatos y, para esto, el algoritmo genético acude a dos tipos de operadores: mutación y combinación. El primero y a diferencia de otras propuestas de evolución que establecen la mutación como el eje central, los algoritmos genéticos la establecen para evitar el estancamiento (Affenzeller, Winkler, Wagner, & Beham, 2009), sobre esto volveré más adelante como parte de los operadores genéticos. Sin embargo, los algoritmos genéticos son algoritmos iterativos estocásticos, lo que no garantiza convergencia, pero sí va a permitir identificar generaciones de agentes cada vez más aptos. Inicialmente, se usa un modelo generacional en el que los nuevos agentes sobreviven solamente esa generación y son completamente reemplazados por una nueva generación (Holland, 1975; De Jong, 1985; Bäck & Schwefel, 1993). Entonces, ¿es necesario acudir a otro tipo de algoritmos? Aunque los algoritmos genéticos son adecuados para acercarse a los procesos evolutivos necesarios en el modelo, se debe buscar algunos ajustes como la aptitud (*fitness*)  $f_i$  del agente  $i$  para que la capacidad de sobrevivir y reproducirse se mantenga (De Jong, 2006), así como aprovechar de otras metodologías la aptitud objetiva, la cual puede determinar

qué descendencia sobrevive hasta la edad adulta y en la que todos los agentes tienen la misma oportunidad de reproducirse. Si se plantea el algoritmo genético estándar, este tendría la siguiente estructura (Tomassini, 1995):

---

**Algoritmo 1.** Algoritmo genético estándar

---

Producir una población inicial de agentes

Evaluar la aptitud de todos los agentes

**While** condición de terminación no cumplida **do**

    Seleccione los agentes con mayor aptitud para la reproducción y produzca nuevos agentes (cruce y mutación)

    Evalúe la aptitud de los nuevos agentes

    Genere una nueva población para insertar algunos de los buenos nuevos agentes para sacar algunos de los malos viejos agentes

**End While**

---

Si se ajustan algunos elementos del algoritmo 1, este se puede definir como (De Jong, 2006):

---

**Algoritmo 2.** Algoritmo de selección proporcional de aptitud

---

Generar aleatoriamente una población de  $m$  agentes padres

**Repeat** compute y guarde la aptitud  $f(i)$  para cada agente  $i$  en la población actual de agentes

    Defina las probabilidades de selección  $p(i)$  de cada agente  $i$  de modo que  $p(i)$  es proporcional a  $f(i)$

    Genere  $m$  descendencia seleccionando probabilísticamente a los agentes para producir descendencia

    Seleccione solamente la descendencia para sobrevivir

**End Repeat**

---

A partir de esto, se definen algunos operadores genéticos que facilitan entender cómo se pueden ajustar las diferentes opciones. En primer lugar, la aptitud  $f_i$  puede definirse a partir de un puntaje sobre cada uno de los agentes, la cual indica su capacidad para ser la mejor solución al problema que se desea optimizar. Adicionalmente, la selección de uno de los nuevos agentes de la población vigente para la reproducción es proporcional a su aptitud y, de esta forma, se puede definir que la expectativa de descendientes para un agente  $i$  está dada como:  $p_i = \frac{f_i}{\bar{f}}$  con  $f: \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^+$ , la cual establece que la función de aptitud  $\frac{f_i}{\bar{f}}$  representa la aptitud promedio de todos los agentes (Holland, 1975; Yang, 2007; Affenzeller, Winkler, Wagner, & Beham, 2009). El desarrollo

adecuado de la función de aptitud facilita los procesos de simulación. Sin embargo, en ocasiones puede surgir la dominación de un grupo de agentes de altos niveles de aptitud que generan una dominación del modelo, pero ¿el proceso de los nanoagentes no se verá influenciado por aquellos agentes que tienen mejor desempeño? Aunque existen otras formas en que se pueden seleccionar los mejores agentes como la selección de rango lineal<sup>86</sup> y la selección de torneo<sup>87</sup>, para nuestros nuevos agentes siempre se seleccionarían aquellos con mayor aptitud y, aún más, cuando las transformaciones tecnológicas exigen las mayores capacidades de adopción y adaptación, entonces, es necesario identificar el procedimiento de selección más efectivo. Sobre la aptitud de los agentes volveremos más adelante.

En segundo lugar, la recombinación facilita extraer de dos agentes y cortar sus cadenas de cromosomas en una posición elegida al azar. Las subcadenas generadas se intercambian para producir dos nuevos agentes y depende de cuantos cortes se hagan en las cadenas correspondientes, buscando crear mejores agentes; es acercarse a una estructura de optimización combinatoria en la que se puede logra identificar opciones óptimas reduciendo el tamaño del espacio en que opera un agente (Papadimitriou & Steiglitz, 1982; Grötschel, Lovász, & Schrijver, 1993). En el caso del ecosistema financiero computacional tendría que hacerse a través de la fusión de los agentes financieros como parte de los procesos de evolución, debido a que la recombinación depende en gran medida del espacio en el que se desarrollan los agentes, así como sus propósitos. Entonces, aquí nuevamente se destaca la importancia de la selección en entornos cambiantes o mejor en

---

<sup>86</sup> En este tipo de selección, los agentes de la población se ordenan de acuerdo con su aptitud y las copias se asignan de tal manera que el mejor individuo recibe un múltiplo predeterminado del número de copias que recibe el peor, nivelando la aptitud entre los mejores agentes y los peores agentes, es decir, reduciendo el dominio de los superagentes, pero a su vez afectando la población de agentes que es muy similar en sus puntajes de aptitud y, en ocasiones, presionando aún más a poblaciones de agentes estancadas (Grefenstette & Baker, 1989; Affenzeller, Winkler, Wagner, & Beham, 2009).

<sup>87</sup> En un *torneo de selección-k*, los agentes  $k$  son extraídos de la población general de agentes y los de mejor aptitud individual de los  $k$  seleccionados son considerados para la reproducción.

entornos estocásticos, ya que los parámetros de incertidumbre no pueden ser reemplazados por valores esperados, debido a que se obtendría una solución determinística<sup>88</sup>.

En tercer lugar, está la mutación como un mecanismo clásico de reproducción, el cual opera clonando a un agente padre y luego proporcionando alguna variación al modificar uno o más genes en el genoma de la descendencia. La cantidad de variación se controla especificando cuántos genes deben modificarse y la forma en que estos genes deben modificarse (De Jong, 2006). De esta forma, la mutación dependerá del espacio, ya que este se puede explorar de manera uniforme al principio y localmente hacia el final, con el fin de hacer una mejor especie de agentes para los escenarios locales. Sin embargo, el ecosistema financiero computacional que se desarrolla en un escenario global requiere de procesos de mutación que haga de los agentes financieros, agentes adecuados para un espacio global y no simplemente local o regional.

Aunque, en los últimos años de la década de 2010 y, posiblemente, los primeros de la década siguiente se evidencia una desglobalización, el ecosistema financiero computacional requiere mantenerse en un escenario global o por lo menos en escenarios con altos niveles de interacción, porque si no sería altamente costoso incorporarse en una serie de transformaciones tecnológicas, no solamente por los niveles de inversión sino por la subutilización de herramientas tecnológicas que no serían necesarias en mercados que no cumplan estas características. La mutación como mecanismo de reproducción debe ir ajustándose a la perspectiva que tengan los agentes del ecosistema en el que van a operar.

Como último operador están los esquemas de reemplazo. ¿Los agentes financieros pueden ser reemplazados? La historia bancaria y financiera muestra varios ejemplos en la que los agentes financieros han desaparecido por diversas razones, otros aparecen, mientras que otros se adaptan

---

<sup>88</sup> Para una ampliación de los procesos de selección en entornos estocásticos para la computación evolutiva, véase: Schmidt (2006).

y se ajustan a los nuevos entornos. Entonces, el ecosistema financiero computacional demandará por esquemas de reemplazo que surgen como otro mecanismo de evolución. Aunque la mutación y la combinación son principalmente los mayores creadores de nuevas generaciones de agentes, ¿cuáles agentes deberían convertirse en miembros de la próxima generación?

- Al escuchar esto, M y Tom empezaban a reevaluar su posición en el grupo de agentes y a acelerar el entrenamiento de los nanoagentes.

Más allá de la mutación y la combinación, se puede establecer como parte general de los algoritmos evolutivos, que existe una vida útil de los agentes, la cual influye sustancialmente en la convergencia del algoritmo (Affenzeller, Winkler, Wagner, & Beham, 2009), pero a su vez, se establece cuánto tiempo se podrá demorar el reemplazo de un agente en el ecosistema financiero computacional, lo cual va a depender de varios factores de reemplazo<sup>89</sup>. Uno de ellos es el reemplazo generacional, en el que la población de agentes es reemplazada por sus descendientes, pero en el ecosistema financiero puede presentarse que la aptitud del mejor agente disminuya en alguna etapa de la evolución y no necesariamente como resultado de un reemplazo generacional, acercándose a los algoritmos de estrategias de evolución, los cuales son propensos a la autoadaptación y buscan optimizar los vectores de números reales,  $x \in \mathbb{R}^n$ .

Nuevamente, los algoritmos de estrategias de evolución pueden ser tenidos en cuenta cuando el esquema de reemplazo se basa en que los mejores agentes de la generación previa son retenidos para la siguiente generación y se crea una especie de elitismo de agentes que reduce la convergencia prematura. Finalmente, se podría reemplazar a través de un esquema de torneo entre los agentes de la última y la nueva generación, en la que los ganadores crearían la nueva población de agentes (Mitchell M. , 1996). Los esquemas de reemplazo en los que los agentes logran avanzar

---

<sup>89</sup> Para una ampliación de los algoritmos de estrategias de evolución, véase: Beyer & Schwefel (2002) y para una mayor profundización que integra la matriz de covarianza de adaptación, véase: Hansen (2016).

por su aptitud y su capacidad de autoadaptación son los que más se ajustan a los agentes financieros de un ecosistema computacional, debido a que estos no pueden ser reemplazados fácilmente por una nueva generación, sino que ellos se mantendrán en la medida en que logren adaptarse y continuar al siguiente paso de la evolución del ecosistema. La coexistencia gana relevancia en la emergencia del ecosistema computacional y no simplemente como un proceso lineal de evolución. Entonces, los agentes dependerán de su aptitud  $f_i$  para evolucionar y podrán ser impactados por la combinación y la mutación. No obstante, los agentes financieros también estarán propensos a la diversidad genética de poblaciones sencillas o múltiples, algo propio de este ecosistema, ya que no existen un solo tipo de agentes como bancos, sino que también existen fondos de inversión colectiva, fondos de cobertura, fondos especializados, bancos de inversión, estructuras fiduciarias, oficinas familiares, entre otras, que interactúan en el ecosistema a partir de sus intereses y capacidades. De esta forma, en el contexto en que exista una sola población  $V$  se busca identificar la similitud media y máxima entre todos los agentes de esa población para definir cada solución  $z$ <sup>90</sup>. En el caso de múltiples poblaciones de agentes, una solución  $z$  se compara con las demás soluciones de otras poblaciones  $V'$  que no incluyen a  $z$  (Affenzeller, Winkler, Wagner, & Beham, 2009)<sup>91</sup>.

Los nanoagentes deben no solamente identificar su proceso de evolución basado en su aptitud  $f_i$  para continuar en el ecosistema, sino también su proceso de interacción en escenarios dinámicos, por esta razón debemos viajar a Kazán para lograr encontrar los espacios más acordes y plantear

---

<sup>90</sup> La similitud media está definida por:  $meanSim(z, V) = \frac{1}{|V|-1} \sum_{z2 \in V, z2 \neq z} sim(z, z2)$  y la similitud máxima está definida por  $maxSim(z, V) = max_{z2 \in V, z2 \neq z} (sim(z, z2))$ .

<sup>91</sup> Entonces, la similitud máxima está definida por:  $z \notin V' \Rightarrow multiPopSim(z, V') = max_{z2 \in V'} (sim(z, z2))$ .

un modelo que facilite la simulación del ecosistema financiero computacional, pero antes debemos hacer una parada en Budapest.

### **5.3 Escala en Budapest**

Aunque cada uno puede interpretar la mejor forma de manifestar el trabajo del artesano o el científico, no existe mejor combinación que la de aquellos saberes que se complementan, y así como John Snow en “Game of Thrones” se decidió ir más allá del muro, a continuación, se hará una escala en Budapest que nos permita encontrar en la ciencia de redes, un modelo que integre las metodologías desarrolladas anteriormente. Es una integración ambiciosa que acopla de manera funcional las argumentaciones biológicas, físicas, matemáticas y sociales, pero que no busca simplemente crear un mundo en miniatura en cabeza de un ejecutivo para probar campañas publicitarias como lo describe Frederik Pohl (1955) en su obra de ciencia ficción “The Tunnel under the World”, sino que configura una solución de muchas posibles que puede ser ajustada paulatinamente por nuevos investigadores que se interesen en continuar esta investigación, ya que esta no termina con su publicación.

Las razones para buscar integrar varias metodologías surgen porque, aunque la modelación basada en agentes nos da algunos elementos, es limitada para simular la complejidad del ecosistema financiero computacional y por esto es necesario una modelación transdisciplinar (Robledo, Sepulveda, & Archer, 2012; Niazi & Hussain, 2013; Kurve, Kotobi, & Kesidi, 2013). Adicionalmente, el ecosistema financiero como sistema complejo evoluciona y se transforma en el tiempo, lo que significa que las redes financieras no son estáticas, sino que cambian continuamente mediante la adición o eliminación de nuevos agentes y enlaces (Bianconi & Barabási, 2001). Es momento de evaluar las fuerzas dinámicas que influyen en cada uno de los agentes financieros, desde las transformaciones políticas, económicas y, especialmente,

tecnológicas, para poder identificar la emergencia del ecosistema financiero computacional, ya que el efecto que genera en cada uno de los agentes financieros se acumula y determina la topología del ecosistema.

Algunas aproximaciones establecen la evolución de las redes como parte de una permanente adición de nuevos agentes como se menciona en la sección 2.3, pero también, y más cercano al ecosistema financiero global, por la búsqueda que hacen los nuevos agentes por vincularse a los agentes que ya tienen una gran cantidad de enlaces. Lo que ayuda a definir la evolución de la red, a partir de la misma evolución de los agentes financieros y sus diferentes comportamientos, que hacen que el ecosistema esté en permanente movimiento y define qué agentes permanecen en él. Es el resultado de su aptitud como se plateó anteriormente. Entonces, ¿los agentes financieros permanecen en el ecosistema financiero computacional a partir de su aptitud y sus capacidades?, ¿es necesario mutar o recombinarse? Posiblemente, la respuesta más acertada es sí, pero es necesario argumentarla para definir cuáles son los patrones más importantes para mantenerse en la siguiente generación de agentes financieros.

Como se mencionó en la sección 5.2, la reproducción de un agente  $i$  es proporcional a su aptitud y su expectativa de descendientes está dada por la proposición:  $p_i = \frac{f_i}{\bar{f}}$  con  $f: \mathcal{S} \rightarrow \mathbb{R}^+$ , donde la función de aptitud  $\frac{f_i}{\bar{f}}$  representa la aptitud promedio de todos los agentes, es decir, que la evolución de un agente  $i$  está determinada por su aptitud y por la posibilidad de interactuar con otros agentes, pues, los agentes financieros tienen que competir por las interacciones con los demás y ahí su aptitud  $f_i$  es fundamental. Se supone que en cada periodo de tiempo  $t$  se agrega a la red un nuevo agente  $i$  con aptitud  $f_i$ , donde  $f$  se elige de una distribución  $\rho(f)$ , a su vez, el nuevo agente tiene  $m$  enlaces que están conectados a los agentes que ya forman parte de la red financiera. De esta

forma, la probabilidad  $\Pi_i$  de que un nuevo agente se conecte a un agente que ya está en la red está determinado por (Bianconi & Barabási, 2001):

$$\Pi_i = \frac{f_i k_i}{\sum_j f_j k_j}. \quad (5.1)$$

La aptitud  $f_i$  y la conectividad  $k_i$  determinan conjuntamente la velocidad a la que se agregan nuevos enlaces a un agente, definiendo la característica fundamental del modelo de Barabási & Albert (1999): la conexión preferencial planteada en la ecuación (2.1). Sin embargo, existen situaciones en las que la aptitud  $f_i$  del agente financiero tiene limitantes de capacidad y de número de nuevos enlaces posibles<sup>92</sup>. La infraestructura tecnológica puede ser uno de ellos, debido a que por más que un agente quisiera operar con todos los agentes financieros globales, existen costos físicos al agregar nuevos enlaces. Otro también podría ser, la antigüedad tecnológica del agente que lo podría llevar a dejar de ser atractivo para que los agentes nuevos busquen interactuar con él y, de esta manera, ser desplazado dentro de la red al punto que pueda desaparecer o convertirse en objetivo de adquisición por parte de otro agente financiero. En otras palabras, las restricciones pueden ser una forma de controlar la aparición de redes libres de escala en los sistemas financieros, algo que podría cambiar si las interacciones se desplazan aún más hacia los espacios digitales, ya que otra de las restricciones es el acceso y la implementación de la tecnología, así como la capacidad del agente financiero de adoptar y adaptarse a ella, es decir, de lograr la transición tecnológica como se plantea en la sección 3.4.

Sí la red crece en un tiempo continuo, la posibilidad que un agente  $i$  aumente su conectividad  $k_i$  está determinada por la ecuación (5.1), estableciendo que:

$$\frac{\delta k_i}{\delta t} = m \frac{f_i k_i}{\sum_j f_j k_j}, \quad (5.2)$$

---

<sup>92</sup> Para una ampliación de los limitantes en diferentes tipos de redes complejas, véase: Amaral et al (2000).

donde  $m$  se convierte en el factor de los enlaces que se agregan a la red por cada nuevo agente y si se cumple que  $\rho(f) = \delta(f - 1)$ , todas las aptitudes de los agentes son iguales. Para nuestro caso, el agente financiero debe buscar las alternativas para evolucionar y hacer los cambios correspondientes para continuar en el ecosistema. En primera instancia, sí la evolución temporal de  $k_i$  sigue una ley de potencia, el exponente dinámico depende de la aptitud  $f_i$ , definida por:

$$k_{f_i}(t, t_0) = m \left( \frac{t}{t_0} \right)^{\beta(f_i)}. \quad (5.3)$$

En este caso,  $t_0$  hace referencia al momento en que el nuevo agente ingresa al ecosistema y el exponente dinámico es igual a:  $0 < \beta(f) < 1$ , es decir, que  $m$  aumenta en el tiempo  $t$ , ( $\beta(f) > 0$ ) y la conectividad  $k_i(t)$  no puede aumentar más rápido que  $t$ , ( $\beta(f) < 1$ ). Debido a que los agentes no ingresan al mismo tiempo, es decir, el  $t_0$  es diferente para todos los agentes financieros, es necesario ajustar las ecuaciones y lograr definir una estructura dinámica más precisa<sup>93</sup>, entonces:

$$\frac{\delta k_f}{\delta t} = \frac{f k_f}{c t}. \quad (5.4)$$

Su solución, similar a la de ecuación (5.2) representada por la ecuación (5.4), está dada por:

$$\beta(f) = \frac{f}{c}. \quad (5.5)$$

Sustituyendo la ecuación (5.5) en  $C = \int df \rho(f) \frac{f}{1-\beta(f)}$  se obtiene que:

$$1 = \int_0^{f_{max}} df \rho(f) \frac{1}{\frac{f}{c}-1}, \quad (5.6)$$

---

<sup>93</sup> Los ajustes presentados a continuación son desarrollados por Bianconi & Barabasi (2001), los cuales buscan implementar nuevos elementos que requiere el modelo. A partir de esto, la sumatoria de todas las aptitudes y conectividades  $j$  se debe interpretar de una forma diferente ante la diferencia del tiempo  $t_0$  de los agentes financieros que entran a la red:  $\langle \sum_j f_j k_j \rangle = \int df f \rho(f) m \frac{(t-t_0)^{\beta(f)}}{1-\beta(f)}$ . Dado que,  $\beta(f) < 1$ , en  $t \rightarrow \infty$  y limite  $t^{\beta(f)}$  se puede comparar con  $t$  y se obtiene que:  $\lim_{t \rightarrow \infty} \langle \sum_j f_j k_j \rangle = C m t (1 + O(t^{-\epsilon}))$ , donde:  $\epsilon = \left( 1 - \max_f \beta(f) \right) > 0$  y  $C = \int df \rho(f) \frac{f}{1-\beta(f)}$ . Usando la conversión de  $\langle \sum_j f_j k_j \rangle$  y la notación de  $k_f = k_{f_i}(t, t_0)$  se puede escribir la ecuación (5.2) como (5.4).

donde,  $f_{max}$  es la aptitud máxima posible en el sistema (Bianconi & Barabási, 2001). Entonces, cuando la aptitud  $f_i$  del agente financiero no logra mejorarse o se tiene un punto máximo posible  $f_{max}$ , es necesario, primero, calcular la probabilidad de que un agente tenga  $k$  enlaces a través de la distribución de conectividad  $P(k)$ , la cual está dada por<sup>94</sup>:

$$P(k) \propto \int df \rho(f) \frac{c}{f} \left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{c}{f}+1}, \quad (5.7)$$

Al ser este elemento parte de la identificación de la topología y conociendo que cada agente tiene un exponente dinámico diferente, dado por:  $\beta(f) \sim \frac{f}{c^*}$  y usando la ecuación (5.7) se puede establecer que la distribución de conectividad sigue una ley de potencia generalizada con una corrección logarítmica inversa<sup>95</sup>. O segundo, un proceso de recombinación o en su defecto de mutación como se argumenta en la sección 5.2.

Sin embargo, para mantenerse en el entorno, sabiendo que el agente reacciona a las señales de este (sección 5.1), el agente debe buscar nuevas capacidades que se generen en los ecosistemas tecnológicos como los de la inteligencia artificial o cualquier nueva tecnología que les permita optimizar sus capacidades o mejorar su aptitud  $f_i$ , es robustecer al agente dentro del ecosistema. Pero ante los cambios, no solamente de adopción y adaptación a la tecnología, el agente financiero debe revisar en primer lugar, si el entorno necesita y puede adaptarse a la transformación tecnológica y, seguidamente, si es viable incorporar o incrementar genes (parámetros) modificados, debido a que, si los genes son relativamente independientes con respecto a sus

---

<sup>94</sup> La distribución de conectividad  $P(k)$  de que un agente en la red financiera interactúe con otros agentes decae como una ley de potencia, es decir:  $P(k) \sim k^{-\gamma}$ , donde el exponente de conectividad viene dado por  $\gamma = \frac{1}{\beta} + 1$  (Barabási & Albert, 1999; Bianconi & Barabási, 2001). Al incluir el parámetro dinámico  $\beta(f)$ ,  $P(k)$  está dado por una suma ponderada de diferentes leyes de potencia, entonces, se requiere calcular la probabilidad acumulada de que, para un cierto agente,  $kf(t) > k$  (Bianconi & Barabási, 2001).

<sup>95</sup> Con la corrección logarítmica, quedaría expresada como:  $P(k) \propto \int_0^1 df \frac{c^*}{f} \frac{1}{k^{\left(\frac{1+c^*}{f}\right)}} \sim \frac{k^{-(1+c^*)}}{\log(k)}$ .

contribuciones a la aptitud  $f_i$ , es decir, baja epistasis, pueden mejorar al agente, pero si estos genes interactúan puede causar dificultades, ya que las mejoras en la aptitud  $f_i$  requieren de varias mutaciones simultáneas que dificultan la evolución del agente financiero<sup>96</sup>. En otras palabras, la evolución de los agentes financieros se acerca a la necesidad de vincular su aptitud  $f_i$  en dos ecosistemas: financiero y tecnológico, así como en su simbiosis.

De esta forma, los agentes buscarían aquellos lugares en los que su aptitud se mejoraría fácilmente, lo que se conoce como el paisaje de la aptitud (*fitness landscape*) que se presenta como una topografía en la que la evolución se logra como una caminata cuesta arriba hacia los picos como lugares óptimos, pero que en ocasiones no se logra precisar si los picos son el mejor lugar de adaptación o si la selección de alguno de ellos permite una mejor y más asequible trayectoria de mutación (Crona, Greene, & Barlow, 2013). Esto debido a que los picos más conocidos por los agentes se pueden convertir en la forma óptima para mejorar la aptitud  $f_i$ , pero puede aparecer otra fuerza evolutiva que desafíe la selección natural hecha por el agente (Kaznatcheev, 2019). Los agentes financieros deben buscar la forma de ajustarse al paisaje de la aptitud (ver Figura 5.2), comprender mejor la variación de la estructura del paisaje, así como su diversidad y, de esta forma, buscar permanecer en el ecosistema, a partir de predecir cómo se pueden adaptar las poblaciones de agentes financieros y demás agentes que interactúan en el ecosistema<sup>97</sup>.

Después de identificar a los agentes financieros y sus procesos de evolución, adaptación o mutación para mantenerse en el ecosistema financiero computacional, se reafirma que la geometría y el espacio hiperbólico se convierten en una alternativa para caracterizar la complejidad dinámica de las redes financieras. Esto debido a que, a partir de la catalogación de los agentes y sus

---

<sup>96</sup> Para una ampliación de la implicación de los genes modificados en los procesos de mutación, véase: De Jong (2006).

<sup>97</sup> Algunas propuestas y variaciones de los modelos de *fitness landscape* pueden ser contrastadas con los modelos tradicionales en: Crona (2014) y Blanquart & Bataillon (2016).

interacciones, se logran uniformizar las distancias y, por ende, hacerlas explícitas. Es hora de continuar nuestro viaje hacia Kazán.

#### **5.4 De vuelta a la Disco en Kazán**

Después de cerrar la Disco del número 254 en la calle 54 de Eukaryote, era necesario buscar un nuevo lugar para entender nuestro ecosistema. El alborotado lugar de la calle 54 que tenía toda la posibilidad de recrear la geometría con los movimientos de sus luces, ya no era el más apropiado para definir con precisión los elementos del modelo y, por esto, era necesario buscar un nuevo lugar que permitiera reunir todos los elementos geométricos para entender la emergencia del ecosistema financiero computacional. Entonces, el viaje se iniciaba hacia un lugar menos ruidoso, menos iluminado, pero más práctico, que permitiera integrar con mayor precisión la propuesta geométrica. Se pensó en Paris, pero de aquí solamente nos llevamos los discos a pesar de que su dueño no era bueno con la música y el camino siguió hasta Kazán. Era el lugar apropiado para crear un modelo con la experiencia de la calle 54, pero también con todos los discos traídos de Paris, las herramientas de Budapest y el conocimiento de Nikolái Lobachevski, un lugareño que sería nuestro apoyo en este nuevo reto geométrico. Con algunos libros de los estantes de la biblioteca y del herbario de la Universidad de Kazán, así como otros documentos de Alejandría y Göttingen se define un argumento que ayuda a iluminar la oscuridad del abismo, en la que se puede convertir la emergencia del ecosistema financiero computacional.

A partir de lo fundamentado en la tercera emergencia, es necesario identificar cómo las redes complejas propias de los sistemas complejos, así como sus diferentes propiedades, pueden ser representadas en gráficas que utilizan la geometría hiperbólica. Para esto es necesario acudir a la geometría euclidiana, específicamente a los círculos euclidianos e integrarlos con los círculos hiperbólicos (Von Looz, Meyerhenke, Prutkin, & Staudt, 2015), pero también solicitar los discos

prestados de Poincaré, lamentablemente muchos de ellos serán divididos, a través de segmentaciones recursivas en cuatro partes iguales y con estructura ráster hasta lograr el propósito de hacer la división<sup>98</sup>.

En consecuencia, para llevar una red compleja a un disco de Poincaré se deben conservar los ángulos y, a su vez, asignar el plano hiperbólico en el disco unitario euclidiano  $\mathbb{R}_1(0)$ . Entonces, se define que la distancia hiperbólica entre dos puntos  $p_E, q_E \in \mathbb{R}_1(0)$  viene dada por la ecuación:

$$D_{\mathcal{H}}(p_E, q_E) = \operatorname{acosh} \left( 1 + 2 \frac{\|p_E - q_E\|^2}{(1 - \|p_E\|^2)(1 - \|q_E\|^2)} \right). \quad (5.8)$$

Aquí, los agentes son generados como puntos en coordenadas polares  $(\phi, r)$  sobre un disco de radio  $R$  en un plano hiperbólico con curvatura  $-\zeta^2$ . Este disco se denota como  $\mathbb{R}_R$ . La coordenada angular  $\phi$  está determinada desde una distribución uniforme  $[0, 2\pi]$ . La probabilidad de la coordenada radial  $r$ , esta dada por  $f(r) = \alpha \frac{\sinh(\alpha r)}{\cosh(\alpha R) - 1}$ , en la que se presenta que es controlada por un parámetro de crecimiento  $\alpha$ <sup>99</sup>. Para los valores  $\alpha = 1$  se establece una distribución uniforme sobre un espacio hiperbólico dentro de  $\mathbb{R}_R$ . Para valores pequeños de  $\alpha$  los agentes

---

<sup>98</sup> Esta división se hace con el objetivo de definir los polar quadtree, los cuales son adaptados al espacio hiperbólico y reducen la complejidad asintótica, así como el tiempo de ejecución para la generación de las gráficas (Von Looz, Meyerhenke, Prutkin, & Staudt, 2015). Los quadtree están basados en el principio de descomposición recursiva del espacio en la que el centro de una subdivisión está siempre en un punto y al insertar un nuevo elemento, el espacio, en este caso hiperbólico, queda dividido en cuatro cuadrantes y se divide de nuevo en cuatro cuadrantes cada vez que se repita el proceso (Samet, 1988; Aluru, 2004). Geométricamente el espacio polar hace referencia a un espacio que consiste en un conjunto de puntos  $P$ , con una colección no vacía de subconjuntos de  $P$ , llamados subespacios  $P'$ . Dicha estructura se denomina espacio polar si para cada línea  $l$  de  $P$  y cada punto  $p \in P$  el punto  $p$  es colineal, ya sea con uno o con todos los puntos de  $l$ . Un espacio polar no degenerado es aquel que no tiene puntos que sean colineales con otros puntos, es decir, no se forma un cono, y es lineal sí dos líneas distintas tienen como máximo un punto común. Es decir, los subespacios satisfacen las siguientes condiciones: primero, que cada subespacio  $P'$  es isomorfo a una geometría proyectiva  $P^d(K)$  con  $-1 \leq d \leq (n - 1)$  y un anillo de división  $K$ , donde  $d$  es la dimensión de cada subespacio  $P'$ . Segundo, la intersección de dos subespacios es siempre un subespacio. Tercero, para cada punto  $p$  que no está en un subespacio  $A$  de dimensión  $n - 1$ , hay un subespacio  $B$  único de dimensión  $n - 1$ , de modo que  $A \cap B$  es  $(n - 2)$ -dimensional, entonces, los puntos en  $A \cap B$  son exactamente los puntos de  $A$  que están en un subespacio común de dimensión  $l$  con  $p$ . Cuarto, hay al menos dos subespacios disjuntos de dimensión  $n - 1$ . Finalmente, si solo se utiliza la relación entre puntos y líneas, se establece al espacio polar como un espacio lineal parcial  $(P, L)$ , de modo que para cada punto  $p \in P$ , como se mencionó anteriormente, y cada línea  $l \in L$ , el conjunto de puntos de  $l$  colineales a  $p$ , es un singleton o en su defecto todo  $l$  (Vedlkamp, 1959; Buekenhout & Shult, 1974; Cameron P. J., 1992).

<sup>99</sup> Para una ampliación de la densidad del agente en una curvatura negativa arbitraria, véase: Krioukov et al (2010).

tienden a estar en el centro, mientras para valores grandes de  $\alpha$  los agentes tienden a estar en el borde de  $\mathbb{R}_R$ . Entonces, dos agentes  $i$  y  $j$  están conectados por un vínculo si la distancia hiperbólica  $D_{\mathcal{H}}$  está por debajo de  $R$  y la vecindad de un agente está conformada por los agentes que se encuentran a su alrededor en el círculo hiperbólico.

Krioukov et al (2010) identifican que el exponente de densidad de agentes  $\alpha$  y la curvatura del espacio  $\zeta$  afectan la heterogeneidad de la topología de la red, por esta razón, la distribución de grado resultante sigue una ley de potencia con exponente  $2\frac{\alpha}{\zeta} + 1$ , proponiendo una normalización de  $\frac{\alpha}{\zeta}$ . Esta propuesta se sale del propósito de este modelo y, por esta razón, se fija el parámetro de curvatura  $\zeta$ , mientras se conservan todos los grados de libertad, por lo tanto, se supone que  $\zeta = 1$  (Bode, Fountoulakis, & Müller, 2015). Entonces, el grado medio  $\bar{k}$  en toda la red de una gráfica hiperbólica aleatoria es controlada con el radio  $R$  (Krioukov, Papadopoulos, Kitsak, Vahdat, & Boguña, 2010)<sup>100</sup>.

$$\bar{k} = \frac{2}{\pi} \xi^2 N \left( e^{-\frac{\zeta R}{2}} + e^{-\alpha R} \left\{ \alpha \frac{R}{2} \left[ \frac{\pi}{4} \left( \frac{\zeta}{\alpha} \right)^2 - (\pi - 1) \frac{\zeta}{\alpha} + (\pi - 2) \right] - 1 \right\} \right). \quad (5.9)$$

De esta forma, se usa el espacio hiperbólico para identificar la evolución de las redes complejas del ecosistema financiero computacional, pero también de la interacción de los agentes cuando están comportándose de la forma que lo definen los algoritmos genéticos. Antes de proceder a una solución que parece que buscara la materia oscura en el universo, es necesario revisar algunas opciones que facilitan la transformación a la geometría hiperbólica.

---

<sup>100</sup> Ampliando lo anterior, se puede establecer que su límite en  $\alpha \rightarrow \frac{\zeta}{2}$  está definido por:  $\bar{k} \xrightarrow{\alpha \rightarrow \zeta/2} N \frac{\zeta}{2} R \left( 1 + \frac{\zeta}{2\pi} R \right) e^{-\zeta R/2}$  y si  $\frac{\alpha}{\zeta} > \frac{1}{2}$ , la ecuación (5.9) puede simplificarse en:  $\bar{k} = \frac{2}{\pi} \xi^2 N e^{-\zeta R/2}$ . Para una ampliación de todo el modelo matemático, véase: Krioukov et al (2010).

A partir de la propuesta de Von Looz et al (2015) se presenta un algoritmo que genera dicha transformación, identificando primero los puntos  $(\phi_h, r_h)$  que se encuentran en un círculo hiperbólico  $H$  alrededor de  $u$  con radio  $R$ . Este círculo  $H$ , corresponde a un círculo euclidiano  $EU$  en el disco de Poincaré y su centro  $EU_c$  y el radio  $rad_E$  son diferentes de  $u$  y  $R$ . Todos los puntos en el límite de  $EU$  en el disco de Poincaré también están en el límite de  $H$  y, por lo tanto, tienen una distancia hiperbólica  $R$  desde  $u$ . Los puntos directamente debajo y encima de  $u$  se construyen manteniendo fija la coordenada angular  $\phi$  y eligiendo las coordenadas radiales  $r_e$  para que coincidan con la distancia hiperbólica:  $(\phi_h, r_{e_1})$  y  $(\phi_h, r_{e_2})$  con  $r_{e_1}, r_{e_2} \in [0,1), r_{e_1} \neq r_{e_2}$  en el borde de  $EU$  y  $D_{\mathcal{H}}(EU_c, (\phi_h, r_e)) = R$  para  $r_e \in \{r_{e_1}, r_{e_2}\}$ . Es decir, el centro  $EU_c$  está en el rayo desde  $(\phi_h, r_h)$  hasta el origen y, a partir de esto, se define matemáticamente la *Proposición 1*<sup>101</sup>. Para generar una gráfica  $G = (V, E)$  con  $n$  agentes y grado medio  $\bar{k}$ , se utilizan las herramientas matemáticas desarrolladas anteriormente y se presenta en el siguiente algoritmo<sup>102</sup>:

---

**Algoritmo 3.** Generación de Gráfica

---

**Input:**  $n, \bar{k}, \alpha$

**Output:**  $G = (V, E)$

- 1  $R =$  obtener el radio objetivo  $(n, \bar{k}, \alpha)$ ; **Ecuación (5.9)**
  - 2  $V = n$  Agentes;
  - 3  $T =$  polar quadtree vacío de radio  $\text{mapToPoincare}(R)$ ;
  - 4 **for** agente  $i \in V$  **do**
  - 5     dibuje  $\phi[i]$  desde  $\mathcal{U}[0, 2\pi]$
  - 6     dibuje  $r_{\mathcal{H}}[i]$  con densidad  $f(r) = \alpha \frac{\sinh(\alpha r)}{\cosh(\alpha R) - 1}$ ;
  - 7      $r_E[i] = \text{mapToPoincare}(r_{\mathcal{H}}[i])$
  - 8     insertar  $i$  into  $T$  en  $(\phi[i], r_E[i])$
  - 9 **for** agente  $i \in V$  **do en paralelo**
  - 10      $C_{\mathcal{H}} =$  círculo alrededor de  $(\phi[i], r_E[i])$  con radio  $R$ ;
  - 11      $C_E =$  transformar CircleToEucladian  $(C_{\mathcal{H}})$ ; **Proposición 1**
  - 12     **for** agente  $j \in T$ . Obtener VerticesInCircle  $(C_E)$  **do**
  - 13         agregar  $i, j$  a  $E$ ;
  - 14 **Return G**
- 

<sup>101</sup> El centro  $EU_c$  debe estar en la bisectriz perpendicular y su coordenada radial  $r_{EU_c}$  esta dada por:  $\frac{r_{e_1} + r_{e_2}}{2} = \frac{2r_h}{ab+2}$ , lo que permite definir la *Proposición 1*:  $EU_c$  está en  $(\phi_h, \frac{2r_h}{ab+2})$  y el radio del círculo  $rad_E$  se deriva de la distancia del centro a  $(\phi_h, r_{e_1})$  y  $(\phi_h, r_{e_2})$  y está determinado por:  $\sqrt{\left(\frac{2r_h}{ab+2}\right)^2 - \frac{2r_h^2 - ab}{ab+2}}$  donde  $a = \cosh(R)$  y  $b = (1 - r_h^2)$ .

<sup>102</sup> Para una ampliación de los métodos usados al interior del algoritmo, véase: Von Looz et al (2015).

Sí se define un punto  $p$  en  $H$ , en el sentido que  $D_{\mathcal{H}}(p, (\phi_h, r_h)) \leq rad_h$ , el punto  $p'$  se convierte en un reflejo de  $p$  bajo reflexión sobre el rayo que atraviesa  $(\phi_h, r_h)$  y  $p$ . El punto  $(\phi_h, r_h)$  está en el rayo y no cambia bajo reflexión, es decir que:  $(\phi_h, r_h) = (\phi_h, r_h)'$ . Dado que se preserva la distancia en el disco de Poincaré, se tiene que:  $D_{\mathcal{H}}(p', (\phi_h, r_h)) = D_{\mathcal{H}}(p, (\phi_h, r_h)') = D_{\mathcal{H}}(p, (\phi_h, r_h)) \leq rad_h$  y  $p' \in H$ . Se confirma que el círculo euclidiano  $EU$  es simétrico con respecto al rayo y su centro  $EU_c$  descansa sobre él. De esa forma, para cada agente  $i$ , el círculo hiperbólico que define el vecindario se mapea en el disco de Poincaré y la vecindad de  $i$  consiste exactamente en los agentes en el círculo euclidiano.

Nuestra nueva disco en Kazán ya se encontraba lista, sólo era lograr atraer a todos los agentes, desde los nano hasta los yocto, a ella. Como cualquier nuevo lugar, los minutos pasaban y no se sabía sí la disco, en la que Nikolái había dedicado gran parte de su tiempo, posiblemente, gran parte de su vida, sufriría el mismo problema de la sociedad de la que habla Bauman (2007): que estaba incompleta y, que ante la incertidumbre de muchas cosas en el universo, era altamente improbable que la disco de Kazán como parte del proyecto *realidad en update* no pudiera ser mejorada cada vez más. Porque la ciencia no es solamente para crear sino también para reparar y mejorar, convirtiéndose en parte de un continuo como menciona Harper (1987) y en este caso, los agentes evolucionan, así como sus interacciones. En otras palabras, las redes evolucionan creando una complejidad creciente que se incrementa cada vez más por la topología dinámica de las redes financieras, especialmente por la heterogeneidad y el agrupamiento. Aunque, la disco de Kazán simplifica la complejidad sin perder la precisión, es necesario lanzar definitivamente *la realidad en update* para simular a los agentes, los escenarios y las redes que evolucionan por sí solos y por la evolución del ecosistema.

En el siguiente capítulo pondremos la realidad en *update* y se busca identificar a través de varias simulaciones, cuál es una de las diferentes emergencias del ecosistema financiero computacional a partir de un conjunto de reglas y parámetros que surgen de los métodos desarrollados en esta sección y las anteriores. De la misma manera, el modelo de tiempo continuo de la sección 5.3 se ajusta para usarlo como un modelo de tiempo discreto y, finalmente, se puede definir la conexión preferencial con una variante geométrica como propuesta para representar una red compleja a través de su transformación a un espacio hiperbólico.



6

Realidad en update

## 6 Realidad en Update

Al salir de la Escuela número 4, implementada por la Sección 9 de la oficina central, y después de un agotador entrenamiento, los agentes se disponían a iniciar su misión. Esta nueva misión era una de muchas posibles, pero cada una debía ir avanzando a partir de las experiencias que se ganaban, es decir, toda la investigación que se había hecho para identificar el mejor grupo lograría que los agentes se adaptaran a cada uno de los escenarios a los que se enfrentarían y, así mismo, asumirían de esas experiencias nuevas capacidades que complementaban todo el entrenamiento recibido. Cada misión sería más compleja porque era factible que interactuaran nuevos agentes, así como nuevos contextos en los que se requería mayor preparación y adaptación. Los agentes estaban entrando a un ecosistema que cambiaría constantemente y se mantendría en permanente evolución, al punto de llegar a situaciones en las que la convergencia de tecnologías y la sinapsis de inteligencias serían las que priorizaran las interacciones del ecosistema financiero computacional. Los agentes para cada una de sus misiones recibirían un grupo de datos que sería definitivo para poder entender la labor y también cómo deberían o podrían enfrentarse a los nuevos contextos globales que surgían en el ecosistema financiero computacional. Algunos de estos datos serían reales y de misiones pasadas que servirían para construir escenarios aleatorios, pero algunos otros serían sintéticos que emularían situaciones a las que podrían enfrentarse dentro del ecosistema. Esto requiere de permanentes ajustes para lograr que funcione lo mejor posible nuestra máquina del tiempo y que defina una ecología financiera en microtiempos, pero a su vez identificar si el espacio juega un papel fundamental, pues, es factible que sea necesario identificar el espacio-tiempo como unidad de medida y no cada uno de forma separada.

El objetivo de este capítulo es definir el marco de las simulaciones y presentar sus resultados, así como los diferentes ajustes que se requiere para hacer una aproximación de una evolución posible

del ecosistema financiero global computacional, debido a que las simulaciones son una herramienta para analizar el comportamiento de los agentes individuales, así como los resultados generales del mercado que emergen de la interacción de los agentes individuales (Freidman, 1993). De esta forma, en una primera sección se identifican los conjuntos de datos que se utilizan para las simulaciones, así como las estrategias para definir datos sintéticos que nos permitan precisar los escenarios a los que podrían verse enfrentados los agentes financieros. En una segunda sección, se presentan los detalles del código de programación para entender las formas que se plantearon los procesos de simulación. En una tercera sección se analizan los ajustes y calibraciones que se hicieron al modelo y finalmente se presentan los resultados.

## **6.1 De lo real a lo sintético**

Cada misión es diferente y por eso era necesario identificar varios ecosistemas, pues cada uno de ellos mostraba características heterogéneas que generaban diversas combinaciones y los agentes tenían que identificar elementos diferenciadores para fortalecer el entrenamiento recibido en el campo de acción, debido a que la funcionalidad de una combinación sólo se manifiesta cuando se interactúa con el entorno (Kauffman, 1993). Las misiones y los datos provenían de diferentes fuentes, es decir, cada misión tenía características diversas y el análisis debía hacerse de forma particular. Los agentes iniciarían con misiones sencillas hasta misiones más complejas para entrenarse antes de asumir los retos definitivos de misiones con un panorama más amplio de interacciones y otros agentes financieros. Entonces, las misiones se desarrollarían en diferentes lugares del mundo, desde interacciones humanas con el apoyo de tecnologías en ciudades fronterizas de países tropicales, hasta interacciones netamente digitales entre centros de datos alrededor del mundo y con una menor participación de los agentes humanos.

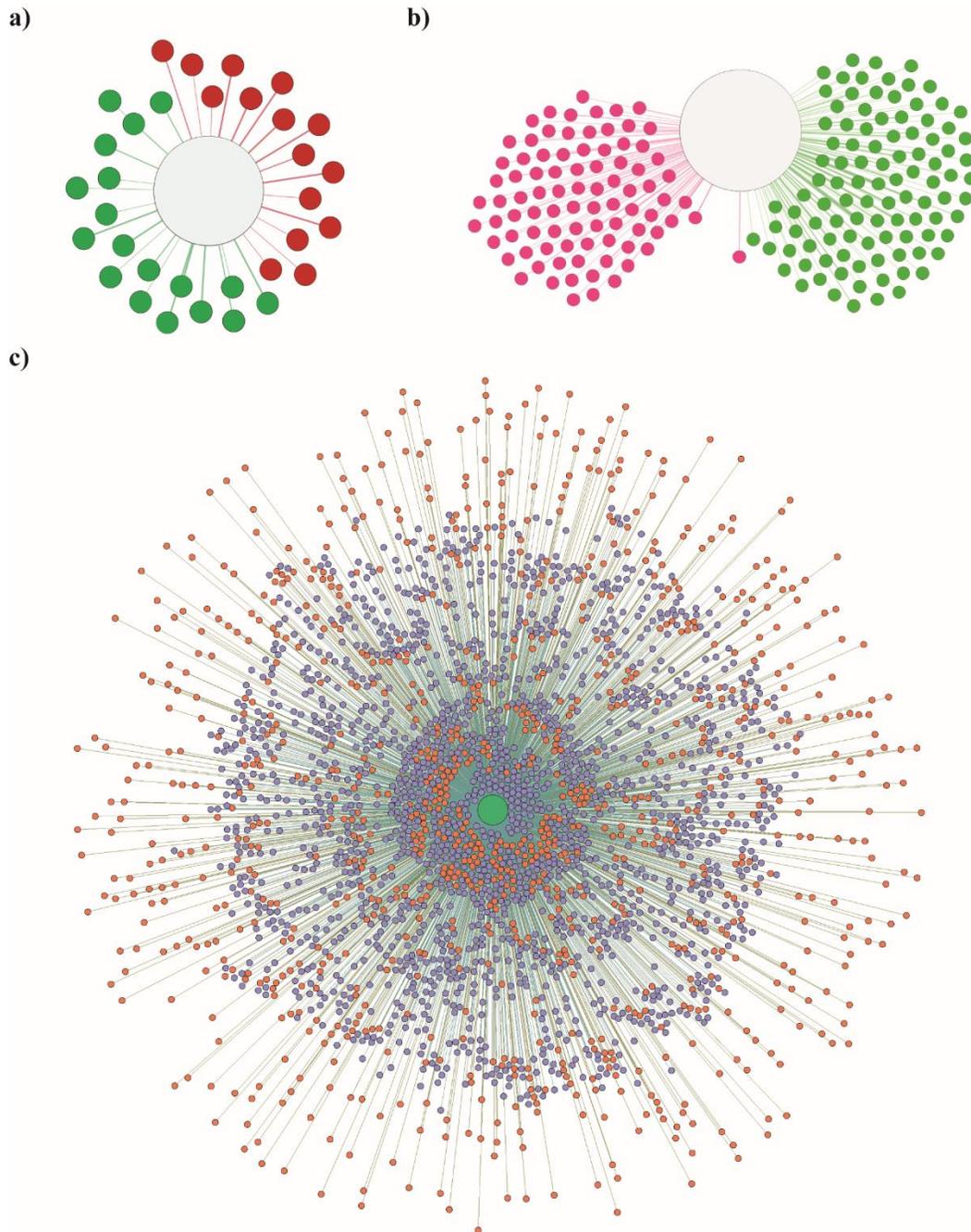
### 6.1.1 Una primera lluvia

Cuando conocieron los datos, los agentes consideraron que sería una misión en la India al Festival Holi en la que los colores son intensos para celebrar la llegada de la primavera, pero por desgracia esta misión era solamente una primera lluvia con algunos pocos colores y no tan intensa como sería la historia de Radha y Krishna. Esta misión hace referencia a las 67.000 transacciones de un corresponsal bancario de una ciudad intermedia en Colombia durante 2019 definidas por fecha y hora de operación, así como por tipo de transacción, valor, código y consecutivo. Para identificar el ecosistema era necesario construir las redes y hacer los análisis de los datos que se generaban a partir de la interacción humano-máquina-humano, es decir, se integró al corresponsal como un tipo de agente financiero que interactúa con agentes humanos, pues, cada una de las transacciones tanto de operaciones de retiro como de depósito son realizadas por personas que utilizan al corresponsal como un medio de intermediación con el banco.

Las interacciones que ingresan al agente financiero son las operaciones de depósitos, los pagos de facturas y productos financieros, mientras las operaciones que salen son los retiros y las transferencias<sup>103</sup>. A partir de esto, se presentan las interacciones del corresponsal en una hora (Figura 6.1a), un día (Figura 6.1b) y un mes (Figura 6.1c) e identificando las características de la topología de una red con un nivel bajo de interacciones. Los agentes veían un ecosistema financiero computacional en las que el espacio físico era una limitante para desarrollar un mayor número de interacciones, pues era necesario que los agentes humanos interactuaran en el proceso para poder identificar las características del ecosistema.

---

<sup>103</sup> Algunos tipos de operación podrían afectar el análisis, por eso se retiraron de la base las consultas de saldo.



**Figura 6.1. Interacciones de un corresponsal bancario.**

a) Operaciones en una hora del día 16 de abril de 2019. b) Operaciones del día 9 de enero de 2019. c) Operaciones del mes de septiembre de 2019.

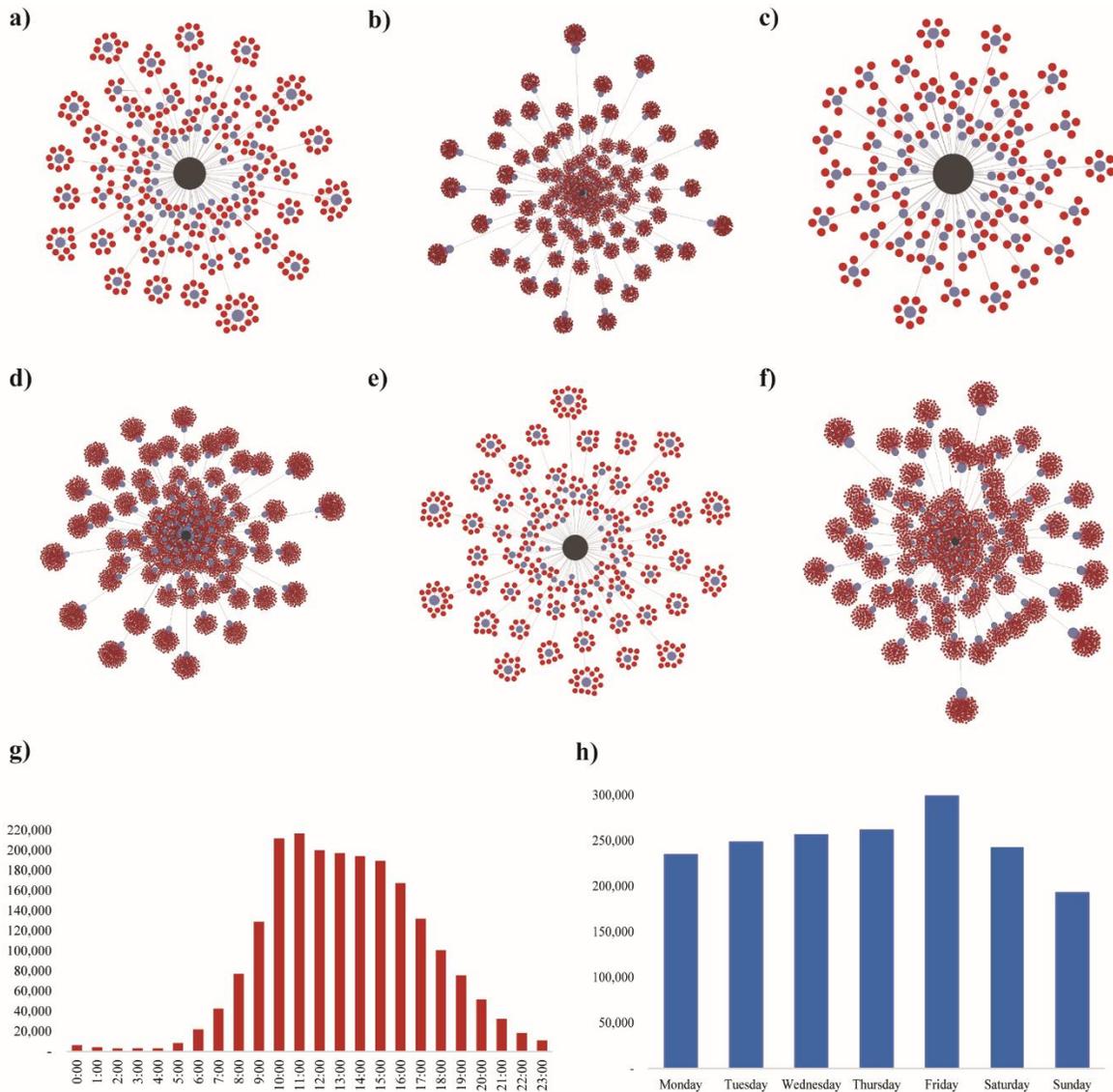
Adicionalmente, los tiempos se prolongaban por la interacción humana a lado y lado de la transacción, ya que el intermediario entre la interacción humana era un agente no humano, pero para su funcionamiento debía ser manipulado por cada uno de los agentes humanos sin importar

que tipo de transacción se estuviese realizando. En otras palabras, los niveles de interacción en este caso son los más pequeños dentro del ecosistema financiero computacional, pues, solamente se incorpora la interacción de un agente financiero con los agentes humanos y las limitantes que tienen las interacciones físicas, ya que estas requieren de un tiempo y un espacio para realizarse, así como que cada transacción debe finalizarse para iniciar una nueva.

Los agentes entendieron varios aspectos de esta misión, pero eran conscientes que era una primera aproximación de un ecosistema computacional en microtiempos, pues a pesar de que existía una interacción tecnológica y un sistema de comunicación en red entre la terminal del corresponsal bancario y el agente financiero, la limitación existía al no poder desarrollar transacciones simultáneamente. Era hora de regresar a la oficina central.

### **6.1.2 Humanos y Máquinas**

El próximo objetivo se encontraba en las frías tierras danesas, en las que el ecosistema que se debía analizar era un sistema humano-maquina, es decir, un grupo de datos que hacía referencia a las transacciones en una red de cajeros automáticos de Dinamarca en el que se presentan casi tres millones de transacciones durante 2017, diferenciados por día y hora. Aunque los agentes tenían información de la posición geográfica (código zip, latitud, longitud, temperatura, clima) de cada una de las máquinas, la misión, en este caso, era identificar el volumen de transacciones en cualquier hora del día, así como en cualquier día de la semana. En una red de más de 100 cajeros automáticos alrededor de Dinamarca y habilitados durante las 24 horas del día, se encontraron algunos patrones en su uso.



**Figura 6.2. Interacciones en con una red de cajeros automáticos.**

**a)** Operaciones de 7am a 7.59am del día 16 de abril de 2017. **b)** Operaciones de 2pm a 2:59pm del día 2 de julio de 2017. **c)** Operaciones de 7pm a 7.59pm del día 31 de octubre de 2017. **d)** Operaciones del día 6 de enero de 2017 **e)** Operaciones del día 20 de abril de 2017. **f)** Operaciones del día 13 de septiembre de 2017. **g)** Distribución de las operaciones de un año por hora. **h)** Distribución de las operaciones de un año por días.

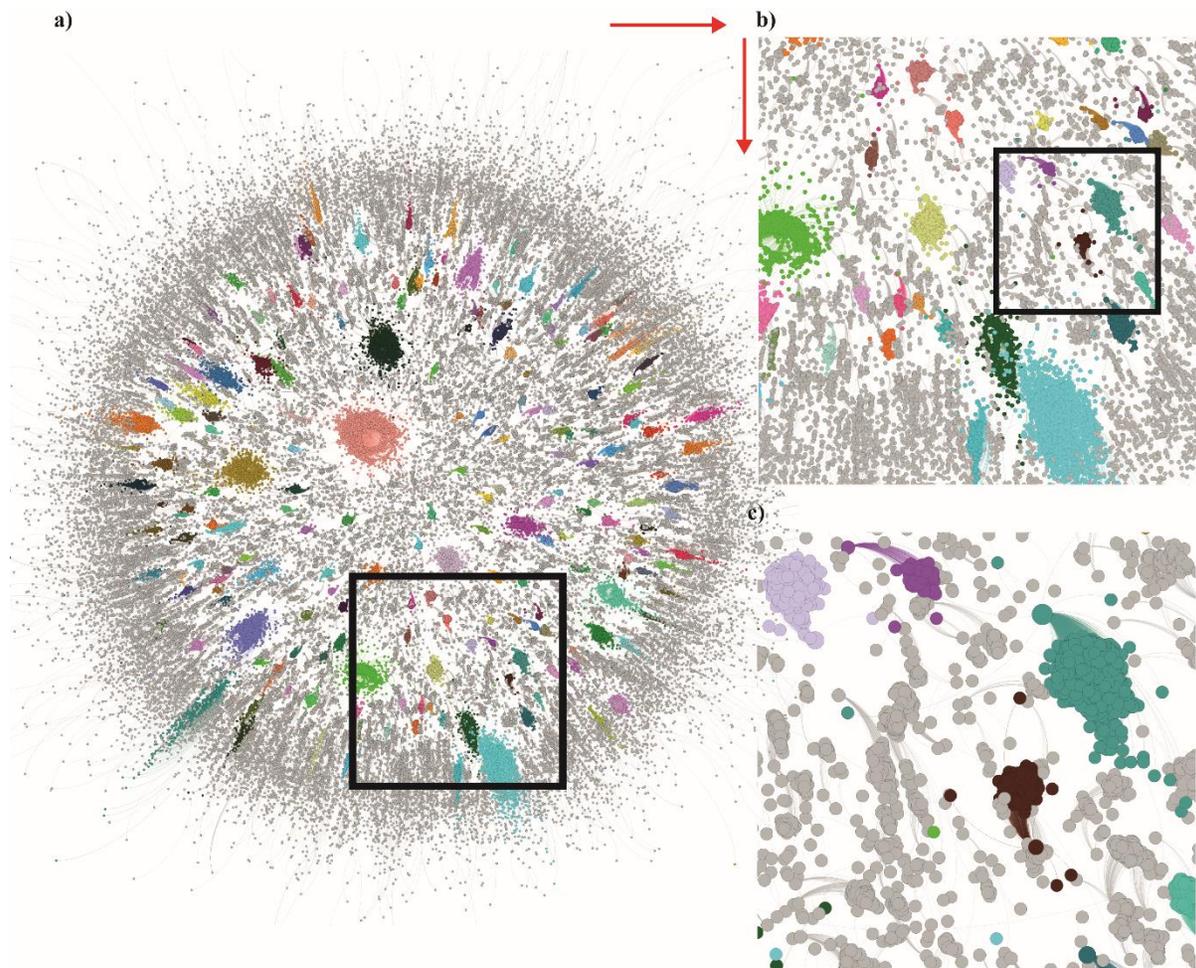
Uno de ellos, es que los agentes humanos incrementan durante el día el uso los cajeros (Figura 6.2a y Figura 6.2c) mientras lo reducen en las noches (Figura 6.2e y Figura 6.2g) y el domingo (Figura 6.2h), sin embargo, su uso se incrementa los viernes y en las horas laborales, especialmente hacia el mediodía. Así mismo, los meses de verano son más propensos a incrementar el uso de los

cajeros automáticos (Figura 6.2f). Aunque se definen claramente los patrones de uso, se seguía presentando una situación en la que la interacción hombre-máquina estaba limitada a que estas no podían ser simultáneas en el mismo cajero, pero sí simultáneas en la red de cajeros. Entonces, los agentes nuevamente se encontraban con una situación en la que el espacio físico seguía presente y en la que el tiempo se limitaba a la velocidad en que el humano podía interactuar con la máquina. Los agentes un poco decepcionados decidían acudir nuevamente a la oficina central.

### **6.1.3 Sin límites de espacio**

Entonces ¿cuál es la misión que nos permite aproximarnos a la emergencia global de un ecosistema financiero computacional? Para esto, los agentes financieros habían convocado una nueva misión que nos llevaría al Caribe, inicialmente a Panamá y continuaría por Barbados, las Islas Caimán, las Bahamas y otras pequeñas islas con poca población, pero con una amplia actividad financiera. Los agentes fueron divididos en dos grupos. Unos irían a Ciudad de Panamá y Georgetown en Islas Cayman, mientras los otros irían primero a Bridgetown en Barbados y segundo a Charleston en la isla de Nevis, para posteriormente reunirse con todo el grupo en Nassau en las Bahamas. Al llegar el primer grupo a Ciudad de Panamá, varios de los agentes no entendían como se podía desarrollar una actividad financiera con tan alto nivel de humedad y calor.

Sin embargo, eso no era lo importante sino el volumen de transacciones que pasaba por los agentes financieros y no financieros en esta ciudad de no más de 500mil habitantes, que se relacionaban con agentes financieros y no financieros de lugares tan distantes como las islas de Samoa o Mauricio hasta de centros financieros reconocidos en Hong Kong, Singapur, Nueva York o Londres. Millones de transacciones entre más de 1.3 millones de agentes financieros y no financieros en un entramado de interacciones que hacía difícil entender la frecuencia de ellas.



**Figura 6.3. Interacciones en una red financiera global.**

Relaciones entre agentes financieros y no financieros alrededor del mundo e identificados en los Panama Papers.

Es decir, aunque no había límite de espacio, pues las interacciones se daban desde cualquier lugar del mundo que tuviese conexión a internet, las relaciones entre los agentes no eran continuas, podían generarse en unidades de tiempo tradicionales y no importaba quien las generara, es decir, un agente con inteligencia natural o artificial o, simplemente, una máquina que procesa transacciones, tanto en espacios físicos o virtuales

El otro grupo había llegado a una población sin las edificaciones tradicionales de los agentes financieros y con una población total, incluyendo la población flotante, de no más de 150mil

habitantes. Bridgetown contaba con casi dos agentes no financieros por residente, una situación difícil de entender para los miembros de la misión<sup>104</sup>. Algo aún más contundente sucedía en la ciudad de Charleston en la isla de Nevis, la cual forma parte de la federación de St. Kitts and Nevis y no tiene más de tres kilómetros cuadrados de territorio, pero en la que existen más agentes no financieros que habitantes y sin el espacio físico para albergar a más de 100 mil en tan pequeño lugar.

Al salir de ahí, el segundo grupo llegó primero a Nassau y sus integrantes no paraban de hablar sobre lo inusual de los dos sitios que habían visitado. Al poco tiempo el otro grupo se unía a ellos y comentaban que las dos ciudades en las que ellos habían estado mostraban algunos rasgos de centros financieros pero que no era comparables a los que ellos conocían como Nueva York, Londres, Tokio o Frankfurt.

Entonces, la misión debía terminar y recordar que no necesariamente un alto volumen de transacciones permitía integrarse a los microtiempos y a los microespacios, pues las redes que resultaron de los *Panama Papers* (Figura 6.3) tenían la posibilidad de desarrollarse sin ninguna dificultad en cualquier lugar sin tener que preocuparse por el tiempo. Un poco desconcertados habían regresado los agentes a la oficina central, pues el ecosistema computacional había evolucionado de acuerdo con las necesidades de los agentes humanos y financieros, pero era posible que solo pudiera convertirse en un ecosistema global para algunas actividades, es decir, era necesario continuar con la exploración para que el ecosistema se integrara en todas las actividades financieras.

---

<sup>104</sup> En este caso, los agentes no financieros hacen referencia a los agentes que complementan los servicios que prestan los agentes financieros, como servicios contables, legales y administrativos.

#### 6.1.4 Espectadores en un ecosistema computacional

La siguiente misión tenía intrigados a los agentes, pues todos irían a un lugar conocido como Genesis, pero mucho no lo encontraban en el mapa. Satoshi uno de los agentes de la misión, le decía al grupo convocado:

- *No se apresuren, entenderán cuando nos lleguen las instrucciones.*

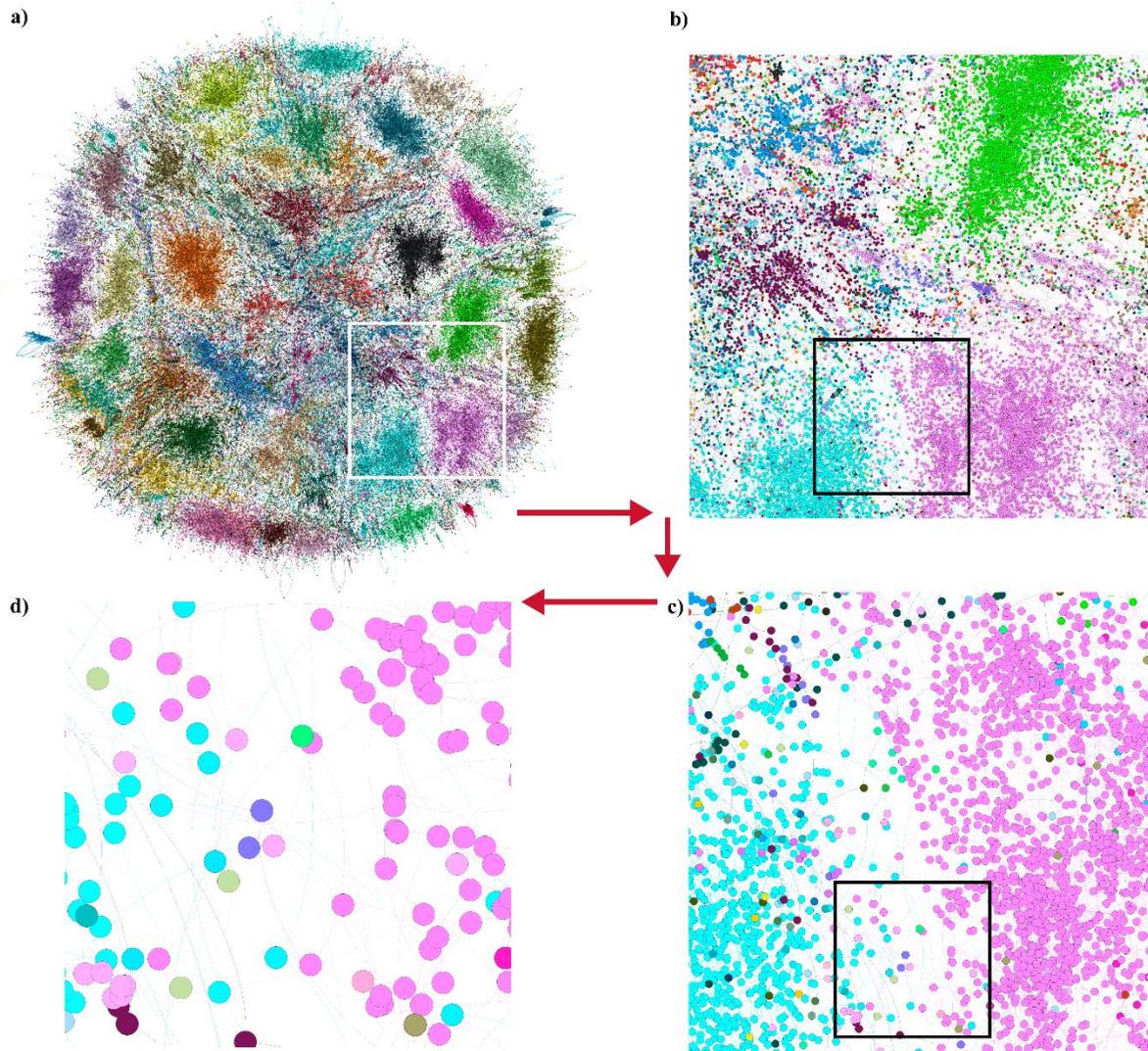
Satoshi era uno de los agentes mejor preparados y con mayor conocimiento, pero para todos era un misterio, pues no se conocía cuál era su nombre verdadero y en qué lugar vivía. Algunos sabían que había iniciado un proyecto global años atrás y, que antes de eso, lo conocían como el gran sembrado de espigas doradas de arroz en el sector bancario japonés.

Todos se dirigían a Genesis, pero ninguno recibió un tiquete de avión. Algunos especulaban que era resultado de la pandemia y por eso no tomarían un vuelo.

- *Es para evitar las aglomeraciones físicas,* exclamaba Archer.

Sin embargo, se dirigían a un centro de cómputo a más de 100 metros de profundidad en una edificación cercana a la oficina central. Esta edificación tenía una particularidad: no era una oficina de un agente financiero sino de un agente tecnológico. Al llegar al lugar, todos entraron a un espacio inmenso que registraba todas las operaciones de monedas digitales que se daban en el mundo, minuto a minuto.

- *Esto si es un ecosistema financiero computacional,* exclamaba Evelyn.
- *Pero descentralizado, ¿Dónde están los agentes financieros?* Decía Tom.
- *Para ti este tipo de ecosistemas es nuevo,* le respondía Evelyn.
- *pues es descentralizado y no hay agentes financieros relevantes como los hemos visto en las misiones anteriores y los veremos posiblemente en nuestras próximas dos misiones,* exclamaba nuevamente Evelyn.



**Figura 6.4. Visualización del Ecosistema de criptomonedas en 2019 a través de aproximaciones.**

Eran algo nuevo para muchos. Pero al parecer para Evelyn una agente que había desertado años atrás de las heladas tierras siberianas, era algo que conocía lo suficiente y en lo que en su experiencia computacional podría facilitar el entendimiento de los ecosistemas, así como lo manifestaba Satoshi. Sin embargo, el problema radicaba en que varios de ellos eran parte de los agentes financieros, que eran quienes querían conocer los resultados de la simulación. Al ver cada una de las operaciones, se creaba una nueva ecología financiera en la que la descentralización era

uno de los aspectos más importantes, pero también la definición de comunidades (Figura 6.4). Adicionalmente, la forma de generarse cada una de las operaciones traía consigo estructuras alfanuméricas para identificar a cada uno de los agentes que interactuaban en este ecosistema.

- *Miren! el código de dirección bc1q34aq5drpuwy3wgl9lhup9892qp6svr8ldzzy7c está operando con varios agentes a la vez, exclamaba Archer.*
- *¿Tiene una dirección adicional?, preguntaba Tom.*
- *Satoshi le respondía: No, es un hash<sup>105</sup> que identifica la transacción, pero lo más probable es que esa dirección opere después de varios días, en ocasiones después de varios meses.*

Entonces, el ecosistema era tan diverso que debía ampliarse para entender por lo menos un grupo de transacciones que se daban en él (ver Figura 6.4c y Figura 6.4d), pero posiblemente las transacciones de estos agentes no eran tan frecuentes y aunque tenía la característica propia de un ecosistema financiero computacional, las interacciones entre los agentes no tenían una frecuencia que se acercara a los microtiempos. Al salir de ahí, varios expresaron que este podría ser un ejemplo de ecosistema financiero computacional. Sin embargo, era necesario acudir a una nueva misión, sin dejar de lado las enseñanzas de este ecosistema para futuras misiones.

### **6.1.5 Detrás de la manzana del Amazonas**

En la oficina central todos seguían hablando de la experiencia del ecosistema de las criptomonedas, pero ya se anunciaba una nueva misión.

- *Señores: su próxima misión será buscar la manzana en el Amazonas, exclamaba M.*
- *¿Viajaremos en avión nuevamente? ¿Qué pasó con la pandemia?, exclamaba preocupada Evelyn.*

---

<sup>105</sup> El Hash hace referencia a la identificación transaccional que se genera aleatoriamente a través de una operación criptográfica con identificadores únicos e irrepetibles a partir de una información dada.

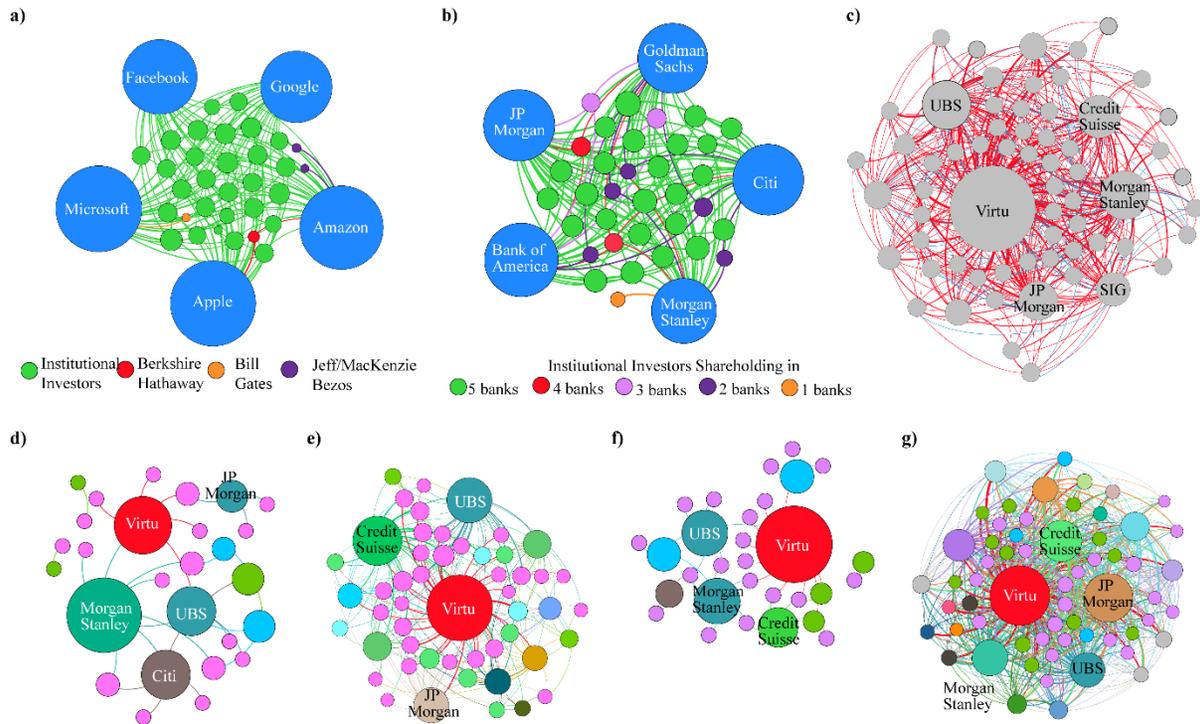
- Tom le respondía: *la Amazonía tiene sus propias dificultades, más allá de otra de las muchas pandemias que tendrá este siglo.*

Los datos que suministraron para la misión era un grupo de datos que se dividía en varios para lograr identificar las principales características del ecosistema del mercado de acciones global más grande del mundo. El primer grupo de datos hace referencia a la propiedad de los principales accionistas de las empresas tecnológicas con mayor valor (capitalización) de mercado. Definen un ecosistema financiero computacional de tenencia sobre las compañías, pero con la particularidad que todas funcionan como registros electrónicos. Esto registros nos permiten identificar una red de interacciones que supera los 2.7 trillones de dólares estadounidenses (USD) entre los principales accionistas de estas compañías. Adicionalmente se revisan las operaciones minuto a minuto en un día promedio de transacción de las acciones de Apple (AAPL) y Amazon (AMZN) y se encuentran algunas particularidades de interacción. En este set de datos se tiene el número de acciones negociado por minuto y el precio con que cerro ese periodo, con los cuales se definen la cantidad de operaciones.

La posibilidad de que una firma de inversión, de las más de 4.000 existentes solamente en Estados Unidos, haga la operación es mayor a partir de los recursos que tiene bajo administración. De esta forma y de acuerdo con la información de la comisión de valores de Estados Unidos (SEC), así como de la autoridad regulatoria de la industria financiera (FINRA) se podría definir una serie de compañías, pero diariamente se reportan los agentes financieros que hicieron transacciones por las plataformas de negociación.

Las cuales se complementan con las transacciones realizadas por los agentes humanos a través de plataformas electrónicas de negociación que son administradas por agentes financieros especializados en este tipo de transacciones.

- *¿Entonces, porque debemos viajar a la Amazonía?*, exclama Evelyn.
- *Para que entiendas, lo complejo que puede llegar a ser el ecosistema financiero computacional*, le respondía M.



**Figura 6.5. Ecosistemas en el mercado de acciones.**

**a)** Principales accionistas de las compañías de tecnología con mayor valorización a febrero de 2020. **b)** Principales accionistas de bancos de Estados Unidos con mayor valorización a febrero de 2020. **c)** Intercambio de acciones de Amazon (AMZN) y Apple (AAPL) realizadas por agentes financieros en 30 minutos del 6 de febrero de 2020. **d)** Intercambio de acciones de Amazon (AMZN) realizadas por agentes financieros en un minuto del 6 de febrero de 2020. **e)** Intercambio de acciones de Amazon (AMZN) realizadas por agentes financieros en una hora del 9 de diciembre de 2019. **f)** Intercambio de acciones de Apple (AAPL) realizadas por agentes financieros en un minuto del 10 de febrero de 2020. **g)** Intercambio de acciones de Apple (AAPL) realizadas por agentes financieros en 30 minutos antes de finalizar la jornada regular de operación del 16 de diciembre de 2019.

Ya estando allá y con los datos suministrados previamente, los agentes habían identificado la inmensa posibilidad de interacciones que podrían darse en microtiempos, si se comparan las interacciones que se dan en un ecosistema como la Amazonía. Es así como las participaciones de varios inversionistas en empresas tecnológicas (Figura 6.5a) o financieras (Figura 6.5b) presentan un entramado global, pero también lo hacen la red de transacciones que se generan con la

negociación de algunas acciones de alta bursatilidad (AAPL y AMZN) durante algunos minutos de un día normal de operaciones (Figura 6.5c). Cada una formaba una red de interacciones que eran necesarias analizar. Nos acercábamos al propósito final de identificar los ecosistemas para simular.

### **6.1.6 Un ecosistema vigilado**

De regreso a la oficina central, M le informaba a su grupo de agentes que otro de los ecosistemas financieros que podría analizarse para definir cuál es el más indicado para hacer una modelación y una visualización en una estructura hiperbólica, es el mercado de divisas. En este mercado se realizan operaciones que pueden agruparse en: operaciones al contado, forwards directos, swaps de divisas, intercambios a futuro de divisas y opciones de divisas. Sin embargo, este set de datos que utiliza elementos reales y algunos supuestos que se pueden entender como parámetros sintéticos, identifica las diferentes interacciones que se dan a nivel global entre agentes financieros globales y agentes financieros locales en las diferentes monedas que se negocian, pero lo más relevante para este análisis son las operaciones directas e indirectas que se realizan por métodos de ejecución electrónica.

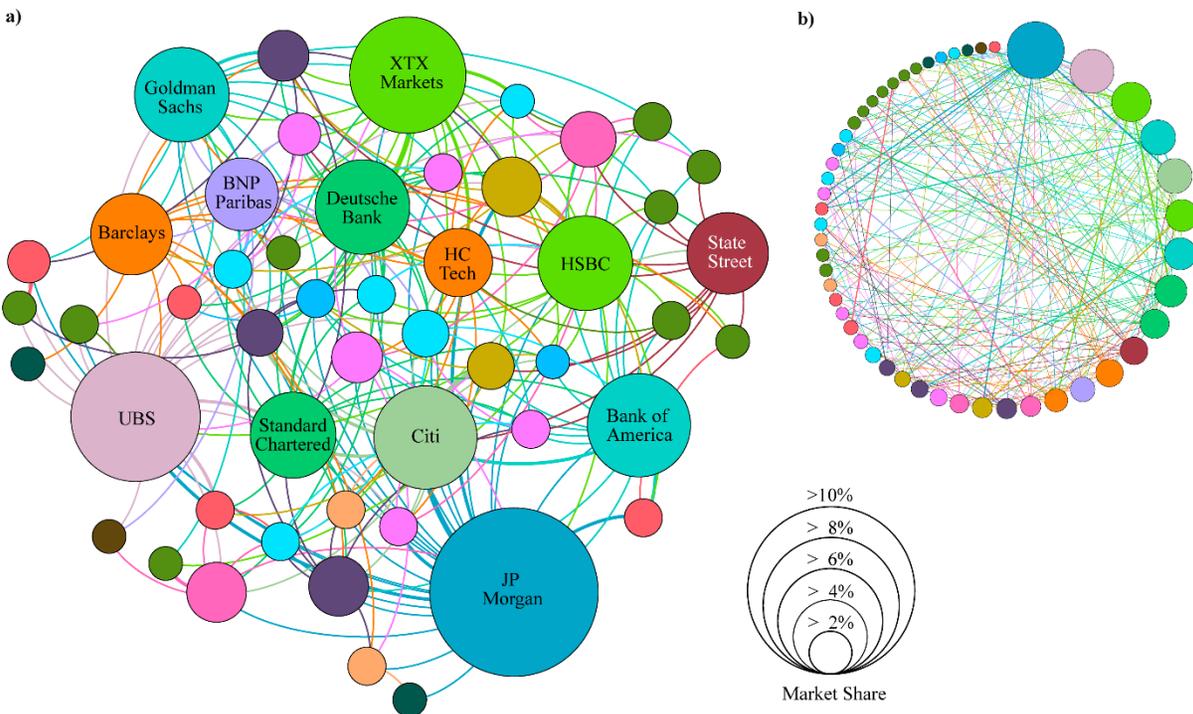
*¿Qué tan grande es este mercado?*, pregunta Tom a M.

Aunque el mercado de divisas realiza operaciones diarias en promedio por más de 6.5 trillones de dólares, 3.7 trillones de dólares se realizan en los mercados electrónicos, en los que habitualmente operan los agentes financieros, pues los otros sistemas integran agentes no financieros como empresas multinacionales o gobiernos, quienes utilizan sistemas telefónicos u otros agentes financieros no especializados en el mercado de divisas que también utilizan estos sistemas. Los sistemas electrónicos pueden ser los sistemas individuales de negociación de cada banco, plataformas de negociación de agentes especializados en sistemas de información y negociación.

Al operar el mercado global las 24 horas del día, es decir, desde el lunes a las 7 am (GMT+10) hasta el viernes a las 4pm (GMT-5), el número de operaciones, si se establece que cada operación es de un valor de USD 10 millones, podría elevarse a más de 360mil transacciones diarias. Es decir, 15mil operaciones por hora y 256 por minuto. Aunque es un supuesto rígido, se acerca a la realidad como se comprueba más adelante.

Al ver los resultados, los agentes sintieron confianza en la precisión de este ecosistema, aunque algunos plantearon varias preguntas:

- *¿Los ecosistemas financieros computacionales tenderán a concentrarse o a desconcentrarse?, preguntaba Archer.*
- *M rápidamente le respondía: es una buena pregunta, pero es algo que debemos identificar con nuestros análisis y simulaciones.*



**Figura 6.6. Ecosistema en el mercado de divisas.**

**a)** Red de operaciones globales en un minuto de operación de los mercados electrónicos. **b)** Representación circular de la red de los mercados de divisas.

Entonces, al verificar los anteriores ecosistemas financieros computacionales, era necesario identificar cuáles podrían convertirse en los exponentes más precisos para la emergencia global de un ecosistema financiero computacional, pues, algunos de ellos tienen varios de los componentes computacionales, pero eran de carácter local con interacciones hombre-máquina y tiempos de operación por interacción más prolongados, los cuales los alejaba de ser simulados en microtiempos.

- *¿Cuál será nuestro siguiente paso?*, preguntaba Evelyn.
- *Definir nuestro libro de códigos*, respondía M.

## **6.2 Libro de códigos**

Era momento de volver al laboratorio para poder construir las simulaciones. Varios agentes financieros acudían a su propio laboratorio en alguna de sus torres de oficinas alrededor del mundo, donde cada uno de ellos se preguntaba sí al ser el pasado un elemento importante pero no definitorio y, en ocasiones, una herramienta limitada ante los permanentes cambios y la volatilidad de los entornos era necesario construir escenarios futuros a través de procesos de simulación y herramientas computacionales. Estos procesos permitirían identificar una variedad de posibilidades que los acercara a entender las interacciones a la que los sistemas sociales y los ecosistemas financieros se estaban enfrentando ante las transformaciones tecnológicas. Entonces, varios de los agentes se dieron a la tarea de identificar interacciones humanas y no humanas en escenarios biológicos y exobiológicos que transformarían con mayor frecuencia la actividad financiera y a ellos mismos como agentes financieros. Sin olvidar que varios de ellos emergían como agentes globales y, lejos de ser agentes meramente locales y regionales, es decir, varios agentes financieros dejarían de lados su visión local, debían decidir si se involucrarían en un

ecosistema financiero computacional con alcance global o se mantendrían en un ecosistema que rápidamente se estaba marchitando.

Como no se podía ver el desarrollo de todos aquellos agentes financieros que querían participar de ese proceso, era necesario simular el ecosistema y definir algunos de los parámetros y patrones que cada uno de los agentes estaba decidiendo en su oficina central. Era así como se buscaría identificar la estrategia de simulación y los respectivos escenarios, pero en la que los agentes se concentrarían en aquellos ecosistemas que les permitían encontrar con mayor precisión los microtiempos y los microespacios, es decir, las simulaciones se concentrarían en las transacciones globales de divisas y acciones, pues, son estos los ecosistemas que tienen un mayor volumen de transacciones a nivel global, así como el despliegue de tecnología.

Los grupos de datos de las simulaciones son heterogéneos y con el propósito de definir diferentes escenarios que identifiquen los posibles avances del ecosistema financiero computacional y la ecología financiera que se genere en unidades de tiempo más cortos a los que habitualmente han operado los mercados, es necesario establecer algunas misiones que identifique los ecosistemas que emergen en estos microtiempos y microespacios, pues, a diferencia de los demás ecosistemas vistos con anterioridad que no logran incorporarse completamente en este tipo de escenarios, en estos se entienden los patrones y la emergencia.

No obstante, los sistemas complejos viven en incertidumbre y, por esta razón, la posibilidad de adaptación es fundamental, pues en este viaje hemos podido definir una dirección que abre diversos mundos posibles, los cuales permiten descubrir cosas que no se sabían, pero a su vez, que no se sabía que se podrían descubrir (Kurtz & Snowden, 2003). Es decir, la complejidad se convierte en el estudio del espacio, el lugar y el tiempo.

Este código abre una puerta para entender los ecosistemas computacionales de las divisas y las acciones, pero se convierte en el inicio de una misión más compleja para identificar mundos posibles que permitan desarrollar un ecosistema financiero computacional en el que los microtiempos y los microespacios son parte de la interacción de los agentes humanos y no humanos en escenarios biológicos, artificiales y exobiológicos. Entonces, los agentes humanos iniciaban su definición del código en varios lenguajes de programación. Sin embargo, se habían decidido por aquel que gozaba de mayor aceptación entre los programadores y que bajo la lógica de estructura colaborativa podría ser usado por los demás agentes financieros o, en su defecto, mejorarlo y fortalecerlo. Los agentes humanos habían decidido Python como lenguaje de programación y se concentrarían en la simulación de los mercados globales de divisas y acciones, y en general en los mercados financieros. Aunque varios agentes propusieron otros lenguajes que anteriormente o a futuro podrían ser más adecuados para los propósitos de simulación como era C++, Java, Ruby, HTML o JavaScript, la decisión ya estaba tomada, Python era más universal y sencillo para el uso de todos los agentes.

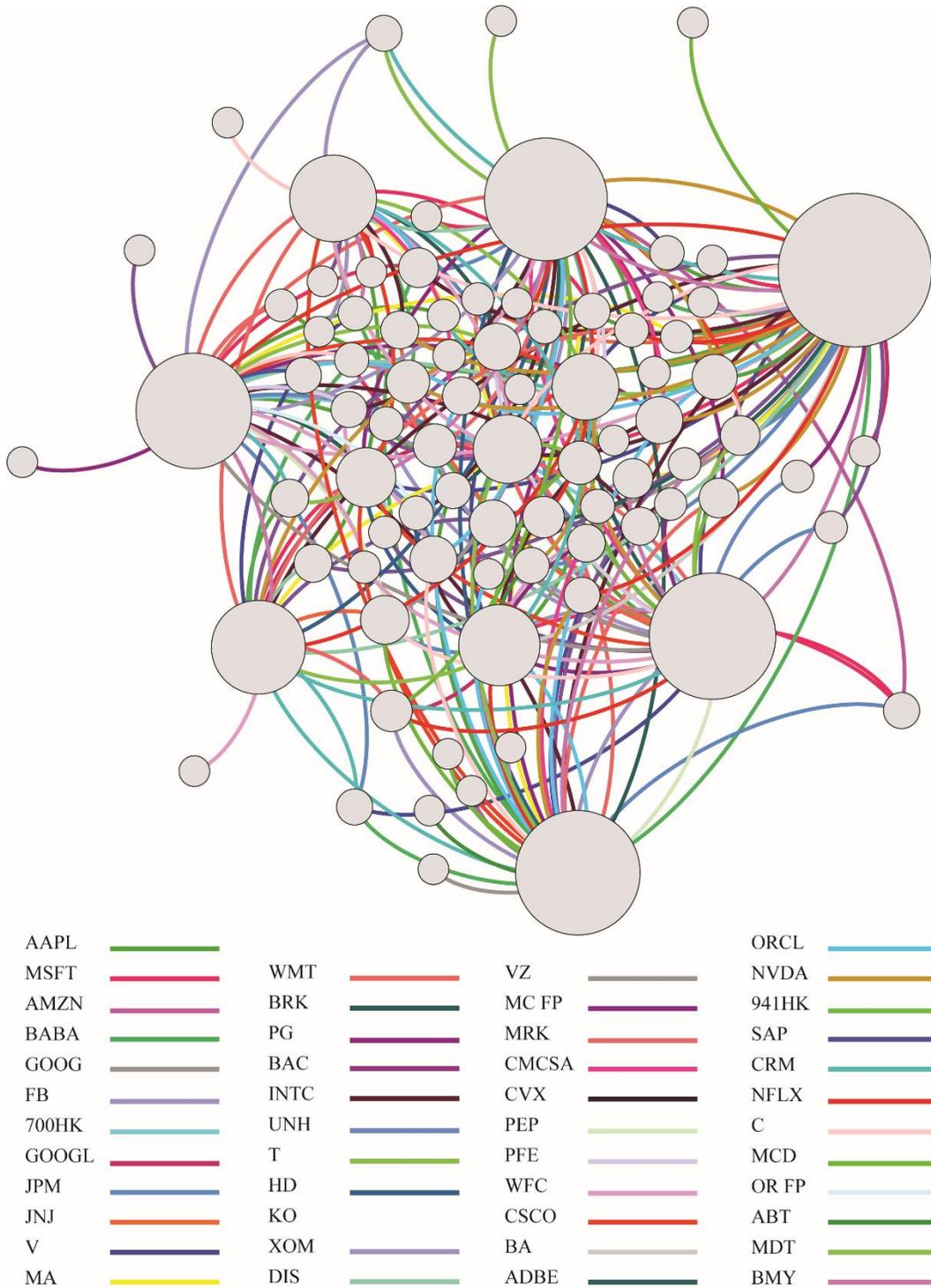
Para definir la simulación del mercado de acciones, los agentes, a la víspera del inicio de una nueva pandemia en el invierno boreal de 2020 habían hecho una selección de las cincuenta compañías con mayor capitalización de mercado a nivel global de un grupo de más de ochenta que superaban en ese momento una capitalización de 100mil millones de dólares. Aunque en su mayoría eran empresas radicadas en Estados Unidos, estas empresas cuentan con accionistas que negocian sus acciones alrededor del mundo.

Era momento de revisar cuales eran los agentes financieros que hacían la intermediación de compra y venta de cada acción, pues cada una de ellas tenía un grupo de agentes financieros que participaban en la negociación, pero en ocasiones, quienes participaban en la negociación de las

acciones de las empresas con mayor valorización a nivel global eran casi siempre los mismos agentes con algunas pequeñas variaciones. Así, entre plataformas de negociación y de información financiera, los agentes humanos precisaban el grupo de empresas seleccionado y la cantidad de transacciones que podrían darse en lapsos menores a un minuto entre los agentes involucrados.

El primer ejercicio que se hizo fue en un lapso de treinta segundos (Figura 6.7). Teniendo la información de cuales agentes participaban en cada uno de los días aleatoriamente seleccionados, se escogieron, también de manera aleatoria, los momentos del día que se tomarían como referencia de las operaciones realizadas en treinta segundos. Varias de las acciones presentaron comportamientos similares durante varios momentos del día e igualmente en diversos días, por esta razón los agentes humanos estaban decididos a que era la mejor forma de identificar patrones para la simulación. Algunas acciones tenían un mayor volumen de operación que otras, pero lo que más llamaba la atención era que tantas operaciones combinadas podrían crear un ecosistema computacional en lapsos menores a un minuto.

Como resultado de esta primera aproximación, los agentes habían evaluado el ecosistema del mercado global de acciones con las tecnologías vigentes usadas por los agentes financieros para interactuar en los mercados, y a partir de ahí, era necesario hacer un seguimiento de los flujos de operación que se realizan durante treinta segundos (Figura 6.7). Así mismo, este resultado mostró que ese flujo de operaciones era a su vez un flujo de colores entre más de ochenta agentes financieros alrededor del mundo que negociaban las acciones de las compañías más valiosas del mundo. Sin embargo, esto podría hacerse para cada uno de los principales agentes financieros de este mercado o para cada una de las más de 5.000 acciones de empresas que cotizan en las bolsas de Estados Unidos.



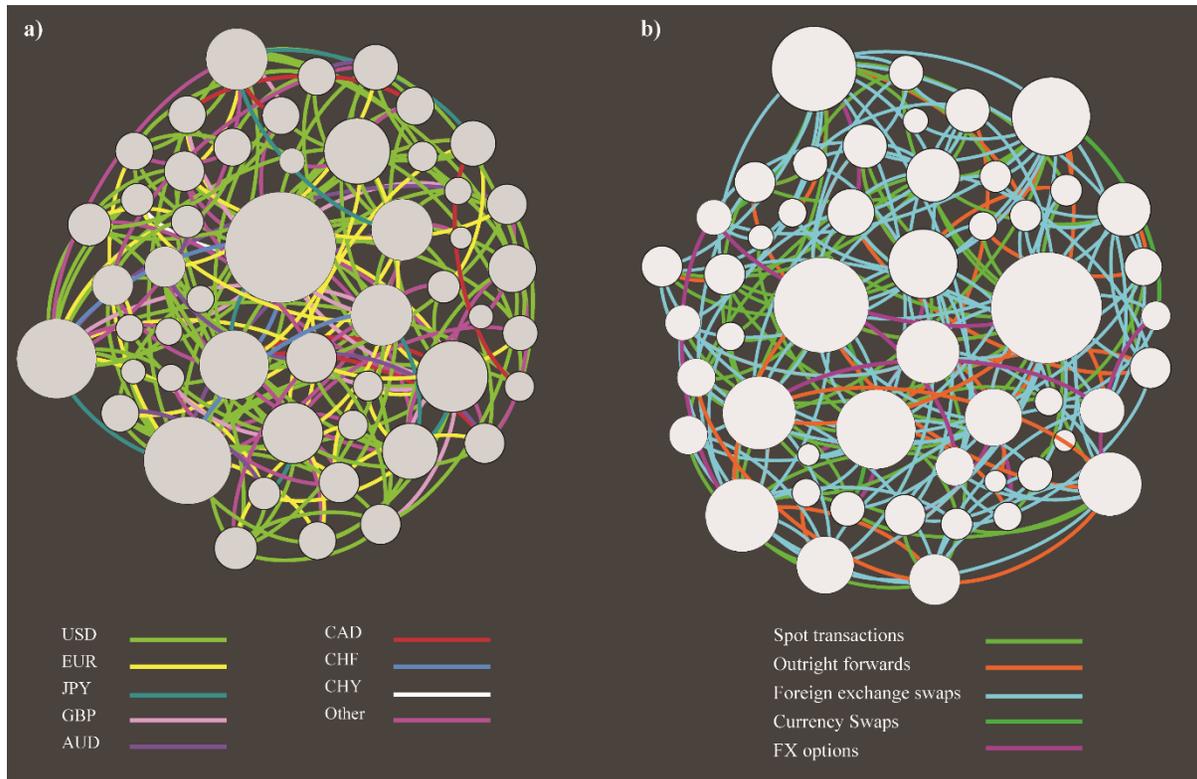
**Figura 6.7. Ecosistema global del mercado de acciones.**

Se identifican las operaciones en 30 segundos de las cincuenta acciones con mayor valorización a nivel mundial, de las cuales 46 acciones tuvieron operaciones y en las que interactuaron 84 de los 132 agentes financieros que operan diariamente cada una de las acciones. Para un total de 346 transacciones, en promedio 11,5 transacciones por segundo. Véase material suplementario para la identificación de los códigos de las empresas.

Pero los agentes se preguntaban: ¿cómo se incorporarían las nuevas tecnologías? ¿Cómo se podrían integrar las tecnologías convergentes? Inicialmente, se estableció que las transformaciones tecnológicas permitían incrementar el número de interacciones y el ecosistema tendría un ajuste dinámico. Para esto, era necesario que las actividades de operación fueran absorbidas en su totalidad por decisiones automáticas a través de algoritmos e inteligencia artificial, los cuales acelerarían las decisiones a partir de instrucciones y no a través de decisiones conductuales propias de los agentes humanos, que surgen de la coyuntura, mientras las decisiones automáticas incluyen todas las posibles combinaciones que se han presentado en una infinidad de situaciones en la historia de los mercados financieros. Era la primera decisión que se tomaba para fundamentar el libro de códigos.

Por otro lado, los agentes que operaban el mercado de activos financieros más grande del mundo querían hacer el mismo proceso con el mercado global de divisas. En este caso, era necesario definir las principales monedas que se intercambiaban alrededor del mundo, así como los diferentes instrumentos con los que se hacían estas operaciones. Con más de 150 monedas diferentes alrededor del mundo, el dólar estadounidense (USD), el euro (EUR), el yen japonés (JPY), la libra esterlina (GBP), el dólar australiano (AUD), el dólar canadiense (CAD), el franco suizo (CHF) y el yuan chino (CNY) dominan el 85% de las operaciones diarias a nivel mundial contra las demás monedas que tiene el 15 % en los diferentes mercados globales (BIS, 2019). Aunque a nivel mundial existen más de 1.200 agentes financieros que operan en los cincuenta mercados más grandes, entre los que se conjugan agentes estrictamente locales y agentes globales, estos últimos concentran en solo media centena de agentes financieros el 95% de las operaciones globales a través de operaciones directas e indirectas en los mercados electrónicos.

De esta forma, se propusieron dos formas de entender las transacciones del mercado de divisas en un lapso de treinta segundos. Primero por origen de la moneda (Figura 6.8a) y segundo por tipo de instrumento. Para los dos casos se identificaron el número de operaciones realizadas en las principales plataformas de negociación durante los treinta segundos, valor que ascendió a 242 transacciones sin importar su valor y su origen geográfico, pero los principales cincuenta agentes financieros en el mercado hicieron 228 y 232 transacciones respectivamente. Es decir, en treinta segundos aproximadamente el 95% de las transacciones fueron realizadas por estos agentes globales.



**Figura 6.8. Ecosistema global del mercado de divisas.**

Se identifican las operaciones en 30 segundos de los cincuenta agentes financieros con mayor nivel de operación a nivel mundial. **a)** 228 transacciones por tipo de moneda. **b)** 231 transacciones por tipo de instrumento. Aproximadamente ocho transacciones por segundo a través de sistemas electrónicos.

Al analizar las dos situaciones, los programadores de los agentes financieros alrededor del mundo iniciaron la definición del código colaborativo y, a su vez, empezaron a trabajar sobre la misma plataforma. Desde el inicio del día en Japón y los ágiles programadores en varias regiones de China decidían cual sería la mejor forma de abordar la situación: una programadora en Tokio de un banco que había unido el esfuerzo de dos grandes familias japonesas para crear un agente financiero global le preguntaba a Jack, su homólogo en Singapur:

- おはよう(Ohayō). *What is the purpose of this code?*

El agente humano en Singapur le respondía introduciendo el código en su computador:

```
"""This module provides classes and methods to perform simulation of the financial ecosystem within a computational society"""
```

Ahora un programador que se había unido a la conversación desde Shanghái, le preguntaba:

- 早上好! (Zǎoshang hǎo!). *What kind of code library do we use?*

Nuevamente su respuesta era en código:

```
import networkx as nx
import numpy as np
from numpy.random import random
```

Esto sería para empezar. Ahora necesitamos decidir la estructura para simular la red del ecosistema financiero. Un nuevo integrante que escribía desde una dirección IP no identificada, pero que ya varios de sus colegas lo conocían, pues por seguridad el agente financiero en Londres para el que trabajaba, le prohibía manifestar una dirección electrónica fija.

- *I will create a first structure*, exclamaban desde Londres:

```
class Tree:
    """create a Tree structure to keep track of financial ecosystem network"""
```

- *Now, I will put some definitions:*

```
def __init__(self, seed_node):
    self.root = seed_node
    self.parent_dict = {seed_node: None}
def add_node(self, source, target):
```

```

        self.parent_dict[target] = source
def roll_back(self, node):
    """Roll back from a node by creating a list of nodes on the
    path to the root, starting from a new leaf"""
    current_node = node*1
    node_list = [node*1]
    distance_list = [0]
    while current_node != self.root:
        current_node = self.parent_dict[current_node]*1
        node_list.append(current_node*1)
        distance_list.append(distance_list[-1]+1)
    return node_list, distance_list

```

Con estas definiciones se iniciaba la estructuración de los componentes de la red e inmediatamente se empezaban a conectar más programadores desde diferentes lugares. Desde Sao Paulo se conectaba la jefe de programación del agente financiero más grande de Brasil, recuerden que en Brasil todo es grande, y decía:

- *Oi, Bom dia. Eu estou falando desde São Paulo. Now, we need to create the neighbors and their weights. Eu estou jogando agora,* exclamaba la ingeniera paulista.

```

class NeighborSampler:
    """Class to sample the neighbors of a node proportionally to their weights, if
    specified."""
    def __init__(self, G):
        self.neighbor_cumulative_weight_list_dict = dict()
        self.neighbor_label_list_dict = dict()
        #initialize the dictionaries
        for u in G:
            self.neighbor_label_list_dict[u] = list(G.neighbors(u))
            #calculate the neighbor cumulative weight list for each node
            self.neighbor_cumulative_weight_list_dict[u] = [0]
            l = self.neighbor_cumulative_weight_list_dict[u]
            for v in G.neighbors(u):
                if "weight" in G.get_edge_data(u,v):
                    l.append(l[-1] + G.get_edge_data(u,v)["weight"]) else:
                        l.append(l[-1] + 1) #default weight is 1 for each edge
            l.pop(0)
            l = np.array(l)

    def get_total_weight(self, node):
        """Returns the sum of the edge weights for all neighbors of a node."""
        return self.neighbor_cumulative_weight_list_dict[node][-1]

    def get_random_neighbor(self, node):
        """Returns a random neighbor of a node according to the edge weight."""
        l = self.neighbor_cumulative_weight_list_dict[node]
        w = random()*l[-1]
        index = np.searchsorted(l,w)
        return self.neighbor_label_list_dict[node][index]

```

Rápidamente se habían integrado varios agentes humanos que trabajaban con agentes financieros en diferentes lugares del mundo y habían creado una primera parte del código. Pero aún no se tenía nada que permitiera desarrollar la simulación. Ahora era necesario crear los enlaces que simularan las transacciones en microtiempos y, para esto, un grupo de tres científicos europeos conectados a través de un proyecto de investigación entre sus respectivos laboratorios se unían al chat del código de programación y saludaban:

- *Bon Jour*
- *Buongiorno*
- *Guten Morgen. We need to create the connectivity matrix; my colleagues have a code idea,*

mencionaba el científico alemán:

```
class Process:
    """Simple class to encapsulate information"""
    def __init__(self, group_size_list, resistance_list, p_in, p_out,
                 p_adj, initial_power, p, initialize_seed_func=None):

        """Initialize the process using the SBM for the social structure"""

        #create connectivity matrix
        connectivity_matrix = np.zeros((len(group_size_list),
                                       len(group_size_list)))
        for i in range(len(group_size_list)):
            for j in range(len(group_size_list)):
                if i == j:
                    connectivity_matrix[i][j] = p_in
                elif j == i+1 or j == i-1:
                    connectivity_matrix[i][j] = p_adj
                else:
                    connectivity_matrix[i][j] = p_out
```

- *Awesome. It is very nice. I try to complement with graph's generation.* Exclamaba Jack

desde Singapur e introducía varias líneas en el libro de códigos:

```
#generate a graph
G = nx.stochastic_block_model(group_size_list,
                              connectivity_matrix)
#add weights on the edges: weight = degree of neighbor
for e in G.edges():
```

```

G[e[0]][e[1]]["weight"] = G.degree()[e[1]]
G[e[1]][e[0]]["weight"] = G.degree()[e[0]]

#generate neighbor sampler
neighbor_sampler = NeighborSampler(G)
#initialize the state of the network
if initialize_seed_func is None:
    seed_node = np.random.randint(0, len(G))
else:
    seed_node = initialize_seed_func(G)

#fix the state of all nodes
state_vector = ["NC"]*len(G)
state_vector[seed_node] = "C"
financial_set = set()
financial_set.add(seed_node)
#initialize resistance level
resistance_dict = dict()
tag = 0
for group in G.graph['partition']:
    for node in group:
        resistance_dict[node] = resistance_list[tag]
        tag += 1

#initialize power
power_dict = dict()
for node in G:
    power_dict[node] = initial_power

self.G = G
self.neighbor_sampler = neighbor_sampler
self.resistance_dict = resistance_dict
self.power_dict = power_dict
self.state_vector = state_vector
self.financial_set = financial_set
self.p = p
self.tree = Tree(seed_node)

def tap(node_power, p):
    """auxiliary function"""
    return p*node_power

```

Ya se había logrado construir un ecosistema inicial para simular, pero era necesario desarrollar el siguiente estado del ecosistema, es decir, el proceso por el cual evolucionaría. Antes de llegar la noche a Tokio, Chroma, el alias en línea del programador japonés escribía su último aporte al libro de códigos:

```

def next_state(process):
    """Perform a single time step evolution of the process"""
    G = process.G
    neighbor_sampler = process.neighbor_sampler
    resistance_dict = process.resistance_dict
    power_dict = process.power_dict
    state_vector = process.state_vector
    financial_set = process.financial_set
    p = process.p

    #create set for new financial node
    new_financial_set = set()
    for financial_node in financial_set:

        #choose a target to interact
        target_node = neighbor_sampler.get_random_neighbor(financial_node)
        if state_vector[target_node] != "C":
            #add to financial level
            resistance_dict[target_node] -= tap(power_dict[financial_node], p)

        #if the financial level is above the threshold, the node
        #becomes financial
        if (resistance_dict[target_node] <= 0):
            state_vector[target_node] = "C"
            new_financial_set.add(target_node)
            process.tree.add_node(financial_node, target_node)

        #perform a rollback and power change
        node_list, distance_list = process.tree.roll_back(target_node)
        for node, distance in zip(node_list, reversed(distance_list)):
            power_dict[node] += 1/(1+distance)**2

    else:

        #perform a rollack and power change
        node_list, distance_list = process.tree.roll_back(financial_node)
        for node, distance in zip(node_list, distance_list):
            power_dict[node] -= 1/((2+distance)**2)
            if power_dict[node] < 0:
                power_dict[node] = 0

        for node in new_financial_set:
            financial_set.add(node)

def phase_transition_diagram(pvector, sample, nstep, *args):
    """Function to generate phase transition diagram"""
    mean_order_parameter_vector = []
    std_order_parameter_vector = []
    for p in pvector:
        order_parameter = []
        for i in range(sample):
            process = Process(*args, p)
            for i in range(nstep):
                next_state(process)
            order_parameter.append(len(process.financial_set))
        mean_order_parameter_vector.append(np.mean(order_parameter))
        std_order_parameter_vector.append(np.std(order_parameter))

```

```
return mean_order_parameter_vector, std_order_parameter_vector
```

- おやすみなさい (*Oyasuminasai*), exclamaba rápidamente Chroma, pues debía salir de su oficina en el 112 Marunouchi de Chiyoda-ku en Tokio y empezar su trabajo clandestino como agente de la Sección 9.

Los agentes financieros a través de la inteligencia natural de sus programadores habían logrado una primera parte de los procesos de simulación. Estas primeras líneas de código hacían referencia a la posibilidad de atracción e influencia de un agente financiero hacia otro, es decir, la aptitud de interacción de cada uno de los agentes, así como su capacidad de influir en la realización de operaciones en los mercados seleccionados para simular. Pero a su vez, la posibilidad de resistirse a operar con algún de los otros agentes financieros.

Sin embargo, esto no era suficiente para avanzar en los procesos de simulación, pues se requería integrar una segunda parte de código que definiera los parámetros de simulación. Aunque estos parámetros eran aleatorios, sería una primera aproximación para definir lo que sería la primera parte de la simulación. Ante esto, un grupo de *quants* de un fondo de cobertura en Brooklyn, liderado por una(o) joven matemática(o), planteaba unos primeros parámetros, los cuales se integraban en una nueva página del libro de códigos:

```
from FinancialSampler import *
import matplotlib.pyplot as plt

#Simulation parameters
group_size_list = [25,135,340,340,160]
resistance_list = [1, 2, 3, 4, 5]*10
p_in = 0.05
p_adj = 0.008
p_out = 0.005
initial_power = 1
pvector = np.linspace(0.2,1,10)
sample = 10
nstep = 500
mean_order_parameter_vector, std_order_parameter_vector = \
```

```
phase_transition_diagram(pvector, sample, nstep,  
                          group_size_list, resistance_list,  
                          p_in, p_out, p_adj, initial_power)  
plt.errorbar(pvector, mean_order_parameter_vector,  
             yerr=std_order_parameter_vector)  
plt.show()
```

Estos parámetros serían la primera aproximación para desarrollar las simulaciones, pero aún faltaba algo: el código para activar la simulación. La comunicación se había interrumpido y durante las conversaciones por el chat del libro de códigos ninguno de los programadores se había percatado de la situación. Ya Tokyo, Shanghái y Singapur se habían desconectado, pero era la hora para que un agente humano que trabajaba a destajo se uniera al grupo. Ya había trabajado para varios agentes financieros alrededor del mundo resolviendo problemas en sistemas de información vulnerables y siempre aparecía con una dirección IP dinámica. Aunque algunos sabían que su lugar de operación era un sótano en Moscú, lugar del que muchos habían querido salir años atrás, unos simplemente conocían su alias de Sergei (Сергей) uno de los nombres más comunes de Rusia, pero otros sabían más de su alias, el cual hacía referencia a su devoción por *Sergiy Radonezhsky* (Сéргий Ра́донежский) un santo de la iglesia ortodoxa rusa. No obstante, era poco lo que sabían de él, pero sí de su amplio conocimiento para simular sistemas complejos.

En ese momento, el programador de Londres repentinamente se había desconectado, pues Sergei era su primo y en su banco le habían prohibido interactuar con él por situaciones pasadas. Inmediatamente al ver conectado a Sergei, el científico alemán también se había desconectado, pues tenía los mismos problemas del programador en Londres, eran familiares. Ante esta situación, algunos pocos habíamos descifrado el nombre real de Sergei: Nicolas, mientras muchos otros no tendrían la más remota idea porque tenía ese nombre. Era hora de volver al código y dejar las conexiones históricas atrás que habían permitido descifrar el nombre real de Sergei.

– привёт (privét). *Do you need my help?* exclamaba Sergei.

Un silencio rondaba en el chat del libro de códigos, hasta que la líder del grupo de *quants* del fondo en Brooklyn quien había tenido relación con varios inversionistas rusos lo saludaba:

– *Hey, Sergei. Can you help us?*

Sergei contestaba:

– *Of course. It is free...*

Varios rieron en el chat y se olvidaron rápidamente de los colegas de Londres y Frankfurt. Todos opinaban en silencio de las capacidades de Sergei, mientras él rápidamente escribía a la perfección varias líneas de código que ayudarían a hacer la simulación:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""Simulation script for financial ecosystem simulation"""

import os
from FinancialSampler import *
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn

#Simulation parameters

#-----
#DONT TOUCH IT
#-----

group_size_list = [25,135,340,340,160]
p_in = 0.01
p_adj = 0.008
p_out = 0.001

#-----
#YOU CAN TOUCH IT NOW
#-----

resistance_list = [1,2,3,4,15]
#resistance_list= np.ones(5)*(sum([x*y for x,y in
zip(group_size_list,resistance_list)]))/1000
initial_power = 1
p = 2.5
```

Sergei había hecho varias anotaciones para que no se cambiaran algunos datos y proceder con una primera prueba. Varios se incomodaron, pero era la mejor forma de avanzar rápidamente

conociendo lo que cobraba Sergei por su trabajo, habitualmente en contratos en la *deepweb* o para algunos agentes financieros globales.

Otros programadores empezaban a escribir para iniciar el proceso de simulación, algunos desde sus oficinas mientras otros lo hacían desde sus ordenadores personales mientras jugaban en línea la última creación de Riot Games:

```
#Initialize the process
process = Process(group_size_list, resistance_list,
                 p_in, p_out, p_adj, initial_power, p)

#get time evolution
order_parameter = []
for i in range(500):
    order_parameter.append(len(process.corrupted_set))
    next_state(process)
order_parameter = np.array(order_parameter)/len(process.G)

#get final distribution of resistance
tag = 0
initial_resistance = {}
final_resistance = {}
for group in process.G.graph['partition']:
    initial_resistance[tag] = np.ones(len(group))*resistance_list[tag]
    final_resistance[tag] = [max(0, process.resistance_dict[x]) for x in group]
    tag += 1
```

Tres programadores escribieron el siguiente paso desde lugares geográficamente diferentes, pero nadie se había percatado de un nuevo escritor de código: Apu Jr. Un estudiante de sistemas simbólicos de una prestigiosa universidad en la bahía de San Francisco en California, quien había logrado entrar a la universidad con el trabajo incesante de su padre Apu Nahasapeemapieton como tendero durante casi treinta años en una pequeña y común ciudad de Estados Unidos.

El ambiente se sentía tenso y Sergei escribía más líneas de código sin pronunciar palabra en el chat:

```
#plot simulation results

fig, axes = plt.subplots(2, 2, figsize=(10, 6), sharex=False) # (1,1) means one plot,
and figsize is w x h in inch of figure
```

```
fig.subplots_adjust(left=0.15, right=0.85, bottom=0.2, top=0.92, hspace=0.4) #
adjust the box of axes regarding the figure size axes = axes.flatten()
```

Apu saludaba a Sergei:

– *Hi, Buddy!*

Eran amigos virtuales desde años atrás cuando hackeaban sitios web. Sin embargo, Sergei no le contestó, pero continuaban apareciendo líneas en el libro de códigos escritas por él:

```
#time evolution

ax = axes[0]
ax.plot(np.arange(0,len(order_parameter)),order_parameter)
ax.set_xlabel(r"Time step")
ax.set_ylabel(r"Fraction of financial nodes")
ax.set_ylim([0,1])
ax.annotate("{:3.0f}% of nodes integrated".format(100*order_parameter[-1]),
xy=(0.4,0.1), xycoords="axes fraction",fontsize=10,color="k")
```

Guido, el científico italiano exclamaba en el chat:

– *Mannaggia. Sergei, what happen?*

Se mantenía el silencio, pero seguían apareciendo líneas en el libro:

```
#initial vs final resistance

ax = axes[1]
ax.set_xlabel(r"Initial resistance")
ax.set_ylabel(r"Final resistance")
for tag in initial_resistance.keys():
    axes[1].scatter(initial_resistance[tag], final_resistance[tag], s=4, marker=".")
```

Una exclamación en el chat aparecía:

– *I must send the other part of the code encrypted. До свидания! (Do svidaniya!)*

Todos sorprendidos guardaron silencio, mientras en la pantalla empezaba a aparecer un código encriptado:

```
# final resistance distributions per group

Encrypted Code
$6 = cMYR8Pz
$PC.b3t_A6Gm9([0,10])
FnqNh$hHqGr83EuL90AMDvxkwMNO18Hs50
x81pOAa$gs.FxQRMb3tWvIMcGeHe/JWhfUFE
$6$TWPBN/o.fb$TgJN1RiIGmhoPkooLAXi4o5RYOvR8Uv

wFDTIoRBbXcMVIytnBRrQFd9jnCqfVQW3Uxgs3S9MuBONnzqn7
cdH6Nafw2dL09IEeVn8MaUW0aYK0hcsGyX
ETZsKp8N8XWzF4B4NAZaD7R5QKcJ5sGXZH+
FBmzngi66jnd6jq24P14

WH75nBp4SnGCLnyAv
```

- mon Dieu! What happen with Sergei? Exclamaba Lorraine, la científica francesa que iba camino a su nueva oficina en *La Défense* en Paris. Otro científico que era contratado por un agente financiero global.

La dirección IP de Sergei empezaba a cambiar cada segundo y en la pantalla continuaba saliendo código encriptado:

```
#create partition

Encrypted Code
/eNULjE0RC6ygio/qT5
Rv5o80AOtYVw9EuEcEtgqYT0
/bGF0QOnwTxz+cHqvUYyAKzDw

kKdvIGF3qMMjLk28s39HYz
NRCNv+gzKWE5yWjkUQdQYZtBPmwPHz
lzG4Uy5SXu277tNYNhlac

6VczNRmPGym2JSKkyIc/
uVIqlaC9k74LcKnPLtIX3SLsMzIO3FNIn
Final Encrypted Code
.
..
...
```

La dirección IP de Sergei había desaparecido, ya no estaba conectado. Sergei escribió parte del código encriptado porque era posible que el ecosistema que queríamos simular fuera utilizado por

un agente no financiero que quería ganar mayor presencia en este ecosistema global con sus capacidades tecnológicas crecientes.

- *Es posible que las corporaciones IOI y MAAG, así como el proyecto Trestone estén interesados en nuestro código*, exclamaba Tulio, un físico mexicano.
- *Hey Tulio, please in English*, le escribían indistintamente por el chat.
- *IOI, MAAG Corporation, and Trestone Project are interested in our code.*
- *What?* Exclamaban todos los que se encontraban conectados.
- *Yes, the new tech giants want to access to the global financial ecosystem*, escribía Tulio.

Entonces, era necesario finalizar el código para tomar decisiones sobre las primeras simulaciones y hacer los ajustes necesarios, principalmente calibrar los tiempos de operación. En ese momento, se conectaron George y Wilhelm, los programadores de Londres y Frankfurt respectivamente, para continuar el trabajo de Sergei y culminar el libro de códigos que beneficiaba a todos los agentes financieros con que ellos trabajaban directa o indirectamente.

El último paso era la visualización y para esto a varias manos se escribió el código:

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""Visualization script for financial simulation"""

from CorruptionSampler import *
import matplotlib.pyplot as plt
from netwulf import *
```

Copiaban las recomendaciones de Sergei

```
#Simulation parameters
#-----
#DONT TOUCH IT
#-----
group_size_list = [25,135,340,340,160]
p_in = 0.01
p_adj = 0.008
p_out = 0.001
#-----
#YOU CAN TOUCH IT NOW
#-----
resistance_list = [1,1,1,5,10]
initial_power = 1
p = 1
```

Solamente faltaba inicializar el proceso de visualización y crear la partición. Ya el grupo de agentes humanos alrededor del mundo estaban próximos a lograr la primera simulación de un ecosistema financiero computacional en microtiempos.

- *Please, let me finish the code!*, exclamaba un programador que había estado conectado, pero no había participado en el desarrollo del código ni tampoco se había identificado.
- *Hi, my name is Will.*
- *Your name or your alias?* exclamaba Tulio.
- *My alias*, decía Will.

Will era conocido de otros ecosistemas en los que se entrecruzaban historias en clave futurista, pero era un conocedor de cuáles serían los avances de la sinapsis de las inteligencias, era un soñador y disfrutaba de aprender de la experiencia de vivir y cuando no lo podía hacer se sumergía en cualquier lugar donde hubiese libros o cualquier tipo de conocimiento.

```
#Initialize the process
process = Process(group_size_list, resistance_list,
                 p_in, p_out, p_adj, initial_power, p)

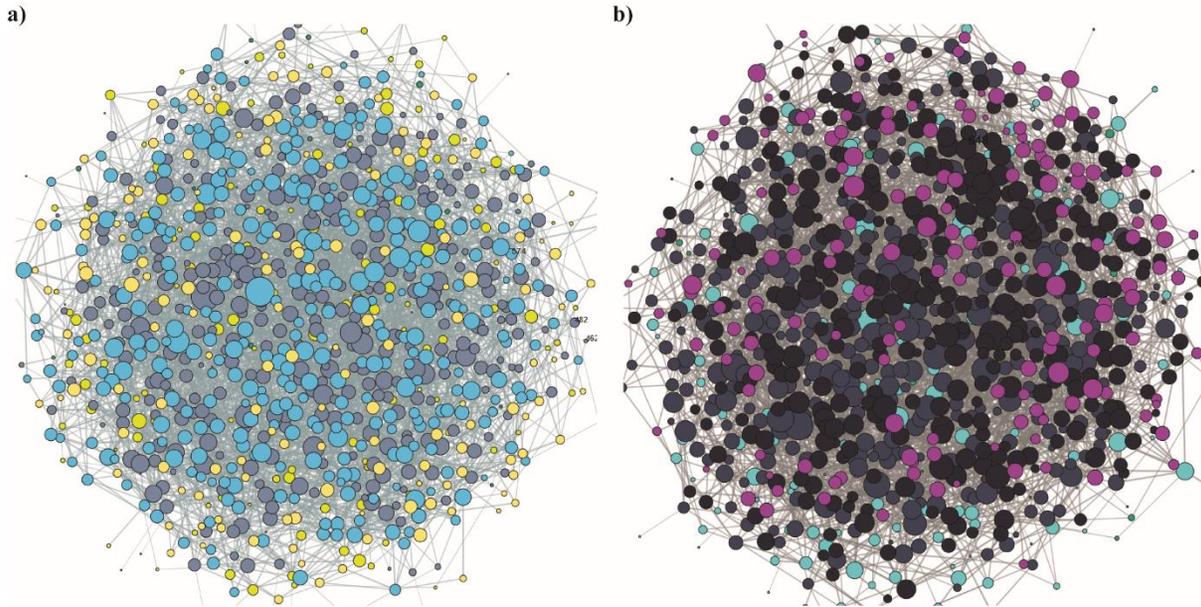
#create partition
partition = process.G.graph['partition']
group_index = 0
for group in partition:
    for node in group:
        process.G.nodes[node]['group'] = group_index
        group_index += 1

process.G.graph['partition'] = []
visualize(process.G)
```

- *Ladies and gentlemen: The last part of our code*, decía Will.
- *My friends! We finished.* Exclamaba Will.

Todos se regocijaban de haber logrado el código y Will les enviaba el resultado de una primera simulación.

- *¿Qué significa esto?*, le preguntaban todos a Will.
- *La emergencia global de un ecosistema financiero computacional en microtiempos*, respondía orgullosamente Will.



**Figura 6.9. Visualización de las primeras simulaciones a partir del código escrito.**

a) Simulación en  $t_1$  de operaciones financieras en diferentes mercados. b) Simulación en  $t_2$  de operaciones financieras en diferentes mercados.

No obstante, era necesario incorporar todo este esfuerzo en la simulación de los mercados financieros seleccionados para después llevarlo a los espacios hiperbólicos y a los espacios en tres dimensiones. Pero antes era necesario calibrar los tiempos e identificar que podría afectar o influir la velocidad de operación en ese ecosistema. Cada vez más cerca estaban los agentes de resolver las incógnitas que surgían con los cambios tecnológicos en las actividades financieras.

### 6.3 Calibrando la máquina del tiempo

Aunque la teoría de la relatividad acabó con la idea de un tiempo absoluto (Hawking, 1988), era necesario acercarnos a la realidad del espacio-tiempo, pues era posible caer en la singularidad, aquel punto en que la curvatura del espacio-tiempo se hace infinita, pero que con la combinación actual de la inteligencia natural y artificial no podría lograrse, pero si acercarse, a partir de un rebalanceo permanente entre las mentes y las máquinas (McAfee & Brynjolfsson, 2017). En las primeras simulaciones se habían identificado algunos parámetros en los que la distancia geográfica y las deficiencias de transmisión de la red de comunicaciones no eran tenidas en cuenta y, aunque, los agentes habían identificado que las distancias se han reducido con la implementación de la tecnología, al desarrollar interacciones en unidades de tiempo menor era necesario identificar aspectos como la distancia y la latencia<sup>106</sup> que ayudan a precisar las variaciones que aún se pueden presentar en las interacciones.

Es posible, entonces, que el ecosistema financiero computacional deba ser visto como una estructura tiempo-espacio más que una estructura tiempo y espacio, pues, cuando un agente financiero está haciendo uso de la inteligencia artificial o de cualquier tecnología para desarrollar algún proceso de interacción en un mercado financiero y extrae información de la red, es necesario tener la información en el menor tiempo posible para tomar decisiones con una mayor frecuencia. Ya no era simplemente una simulación en la que una población de agentes tiene una distribución conocida de latencia y confiabilidad de la red, sino es necesario incorporar esas unidades de tiempo en la que la distancia vuelve a ser importante.

---

<sup>106</sup> La latencia se refiere a los retardos temporales que se registran en una red, pues la velocidad de conexión no es solamente el factor para tener en cuenta, sino el tiempo exacto que tarda en transmitirse un paquete de datos dentro de la red entre un receptor y un servidor.

Varios de los agentes que habían ayudado a desarrollar el libro de códigos, les preguntaban a los agentes más experimentados en su campo como Tom, Ethan, Will, Satoshi y Sergei.

- *¿Qué debemos hacer ahora?*, preguntaba Tulio.
- *Pensé que ya habíamos terminado nuestra gran misión*, exclamaba Guido.
- M les respondía, anticipándose a la respuesta de Ethan: *Es hora de integrar el espacio tiempo, pues si nuestro ecosistema computacional va a operar en microtiempos, entre más lejos este alguno de los agentes financieros del lugar donde se genera la información, podrán presentarse pequeñas desventajas que hoy en día no son significativas pero que pronto deberán ser tenidas en cuenta.*
- Will exclamaba: *es hora de dejar atrás la diferencia entre espacio y tiempo.*
- *¿Pero cómo haremos eso?*, preguntaba Evelyn.

Esta serie de interrogantes llevó a que los agentes tuvieran en cuenta nuevas variables:

- *¿Qué impacto puede tener la latencia en las operaciones de los agentes financieros?*, preguntaba Sergei.
- *¿Sergei eres tú?*, preguntaba Lorraine
- *¿Qué te había pasado amigo?*, pensábamos que te estaba persiguiendo la FSB, exclamaba Apu Jr.

Como era costumbre de Sergei, no escuchaba las exclamaciones de preocupación y continuaba con sus preguntas.

- *¿Realmente puede tener algún impacto? Yo sé que en los videojuegos en línea puede haber algún impacto, pero también dependerá de la tecnología del hardware.*
- George su primo en Londres le respondía: *Sergei, tú sabes que los agentes financieros son más que un juego de video en línea y su creciente número de transacciones usando*

*inteligencia artificial requieren que las limitantes de tecnología y transmisión sean resueltas, pues de lo contrario sus inversiones en nuevos avances tecnológicos serían en vano.*

- *Entonces, ¿la latencia 0 no existe?*, preguntaba Evelyn.
- *¡No! y es posible que su mitigación en los nuevos ecosistemas computacionales pueda ser superada con reducir la distancia desde donde se genera la información*, respondía George.

La latencia se convertía en el factor necesario para calibrar la máquina del tiempo, pues esta podría incrementar los tiempos en escenarios de milisegundos ( $10^{-3}$ ) y microsegundos ( $10^{-6}$ ), es decir, la suma de retardos temporales dentro de una red podría ocasionar cambio en la rentabilidad o pérdidas en los agentes financieros (Byrd, Hybinette, & Balch, 2019).

- *¿Realmente el ecosistema financiero podrá identificar esos cambios?*, preguntaba Tom el agente más veterano de todos y que estaba próximo a retirarse, al igual que M.
- *Con las inversiones que se están haciendo es necesaria considerarla*, respondían conjuntamente Will y Sergei.
- *Sino será como perder una partida en League of Legends*, exclamaba entre risas Sergei.

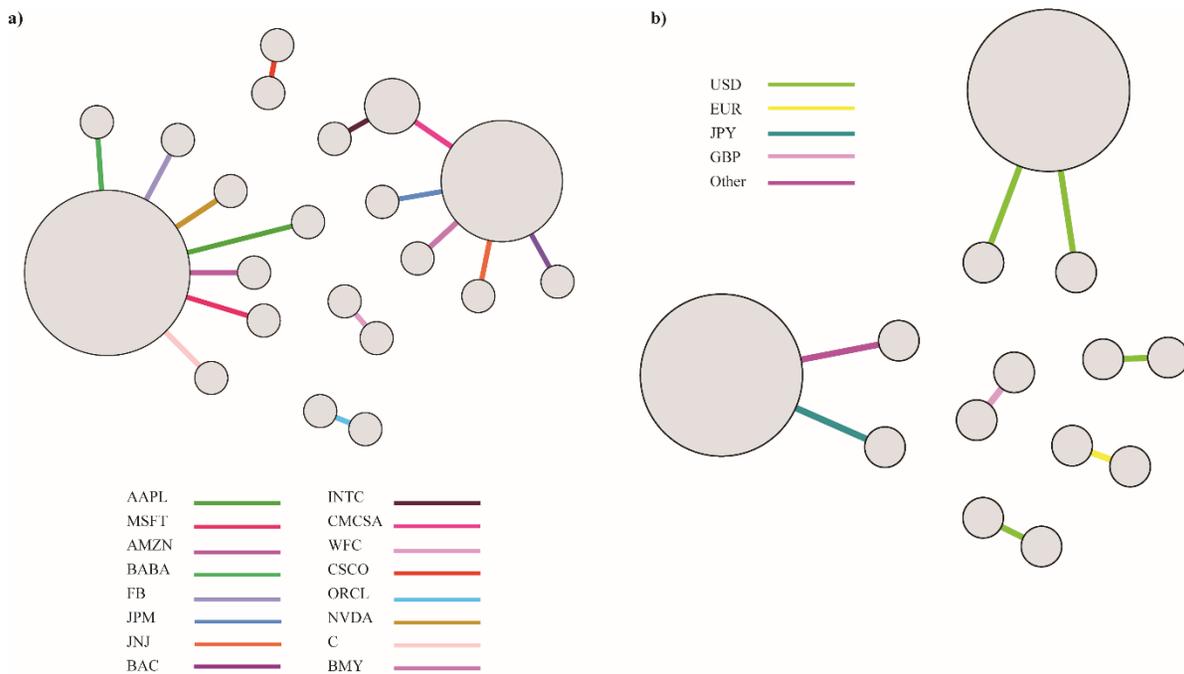
Entonces nuestras simulaciones tendrían esos pequeños retardos y buscarían ser calculados con y sin ellos para identificar que tan posible es que impacten o no la topología y la geometría del ecosistema financiero computacional. Para esto, era necesario definir los ecosistemas de los mercados financieros de acciones y divisas en periodos de un segundo para iniciar nuestro acercamiento a los supuestos que permitieran calibrar la máquina del tiempo.

De esta forma, los ecosistemas para implementar los supuestos tecnológicos y calibrar el tiempo se establecían a partir de lo que sucede en estos mercados en un segundo, basándose en los resultados presentados en las Figuras 6.7 y 6.8.

Evelyn, la más incrédula de los agentes preguntaba:

- ¿Si existe la posibilidad que en un segundo suceda algo en estos mercados?
- Desde Brooklyn, Taylor le respondía: *Te lo digo con la voz de la experiencia. Hoy en día suceden muchas cosas, ya lo veras.*

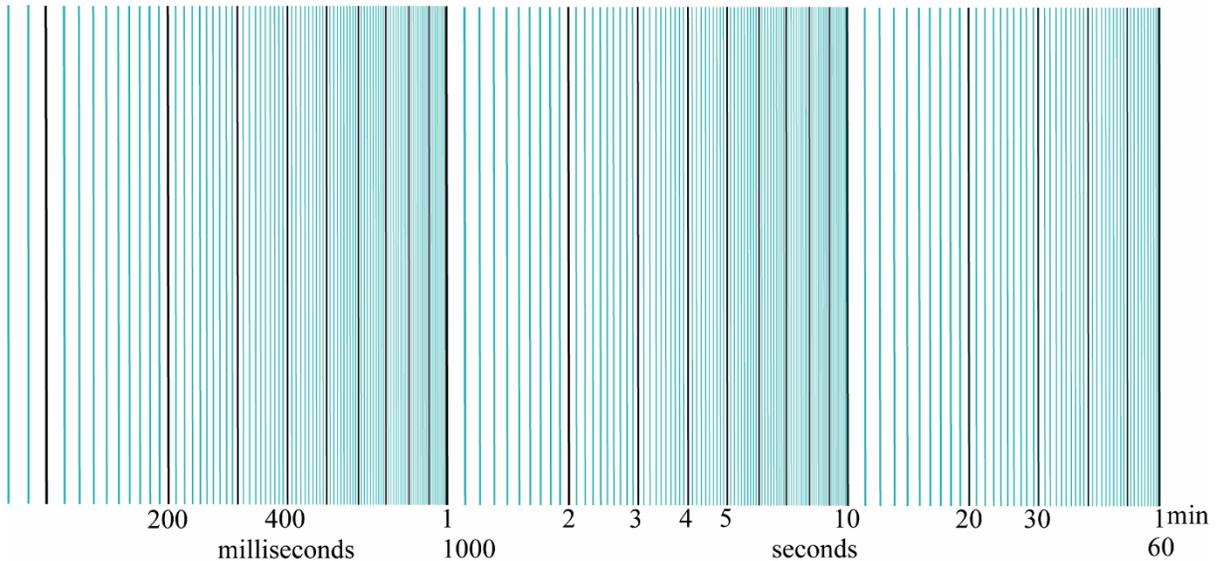
La tradición de Evelyn no le permitía ser crédula inmediatamente de todo lo que le decían sus colegas. Pero era cuestión de unas líneas para poder identificar lo mucho que sucedía en un segundo.



**Figura 6.10. Interacciones de los mercados financieros en un segundo.**

**a)** Mercado de acciones. **b)** Mercado de divisas.

Con estos elementos se establecieron los siguientes supuestos: Sí la totalidad de las operaciones en acciones son realizadas de forma electrónica utilizando inteligencia artificial y estructuras algorítmicas para que de manera automática se ejecuten las operaciones a partir del cumplimiento de algunos parámetros, se establece que pueden ejecutarse entre 500 y 1.000 operaciones por segundo en los mercados grandes con mayores niveles de transaccionalidad y de 400 y 600 en los mercados grandes con menores niveles de transacciones. Para esto, es necesario acortar nuestra escala de tiempo logarítmica presentada anteriormente y presentar en detalle la división de un segundo (ver Figura 6.11).



**Figura 6.11. Escala de tiempo logarítmica.**

Fuente: Adaptación propia con información de Häggström (2010)

La latencia en promedio que se identificó entre varias pruebas aleatorias hechas por los agentes en las ciudades y a diferentes horas del día, puede estar entre 8 y 30 ms. De esta forma, sí la latencia es de estos niveles se pueden reducir la cantidad de transacciones en el mismo volumen que impacta la latencia, pues una transacción se podría hacer en un milisegundo. Por otro lado, ¿cuál sería la latencia desde el punto de vista de distancia? Esta latencia depende no solamente de la

distancia sino también de los saltos que debe dar la información para pasar de una red de comunicación a otra, pues entre más saltos mayor latencia adicional se presentará. En promedio la latencia entre dos agentes financieros a través de las redes de comunicación puede oscilar entre 120 y 125 milisegundos si cada uno de ellos estuviera en las ciudades de Nueva York y Tokio, de 150 si estuviera en Sídney, de 80 si estuviera en Londres o de 90 si estuviera en Frankfurt<sup>107</sup>. Es decir, la distancia sería definitiva al momento de operar algún activo financiero bajo la modalidad de alta frecuencia de negociación que trae consigo la implantación de la inteligencia artificial en las negociaciones.

Ya podíamos volver nuevamente a nuestro laboratorio de simulaciones con estos supuestos y definir una ecología financiera en microtiempos e intentar los microespacios. En la que sería necesario identificar los impactos que tendrían las distancias y la latencia, pero haciendo la salvedad que no todos los agentes podrán entrar a operar en estas unidades de tiempo, debido a que las restricciones económicas pueden definir la permanencia de los agentes financieros en el ecosistema computacional.

#### **6.4 Ecología financiera en microtiempos y microespacios**

Ya había transcurrido mucho tiempo y era necesario identificar como evolucionaria el ecosistema financiero computacional en un sinnúmero de mundos posibles. La sinapsis de la inteligencia natural y la artificial conducían a que se fortaleciera la superinteligencia y que el ecosistema financiero se acercara aún más al ecosistema tecnológico, emergiendo un ecosistema nuevo, una ecología financiera resultado de la fusión de los procesos financiero y tecnológico que algunos lo han identificado como una nueva era de las finanzas: las finanzas ciborg, una simbiogénesis

---

<sup>107</sup> Para una ampliación de la metodología usada por las empresas de servicio de telefonía e internet, véase AT&T (2003) y Ciavattone et al, (2003). Otras fuentes de estadísticas de latencia pueden ser suministradas por empresas telefónicas globales, véase: Verizon (2020).

financiera en la que las actividades financieras están acercándose a esquemas en las que las máquinas operan el sistema y los humanos definen el siguiente paso.

Esta era la introducción que hacía M a una de las últimas reuniones del grupo de agentes, quienes cada vez tenía más dudas de los que podría ser el ecosistema financiero computacional, no porque no fuera a existir, sino porque las transformaciones tecnológicas llevarían a los agentes financieros a unidades de tiempo que aún no eran claras, pero que harían de las interacciones financieras un proceso diferente al que se había vivido en los últimos siglos. Posiblemente ante estos cambios varios dejarían de existir o buscarían acercarse a los agentes más fuertes.

Aunque el ecosistema financiero computacional puede ser ejemplificado de diferentes formas como se presentó en la sección 6.1, la ecología financiera en microtiempos y microespacios solo puede ser ejemplificada en estructuras financieras con alto volumen de operaciones, operaciones masivas en línea, trading algorítmico y asesoramiento financiero artificial, así como la importancia de un mayor número de agentes financieros involucrados, con la salvedad que estos tendrán que demostrar su aptitud  $f_i$ . Es decir, las inversiones en tecnología y el fortalecimiento científico de los agentes financieros serán fundamentales para consolidar esa aptitud y el interés por varios agentes financieros de relacionarse preferencial y específicamente con algunos otros agentes financieros.

Por esta razón se definió una ejemplificación para este tipo de estructuras que confirman en una mayor proporción los argumentos definidos en esta tesis. Primero, porque en los últimos veinte años, varios agentes financieros, incluyendo los fondos de cobertura y algunos bancos globales han invertido en el despliegue de recursos tecnológicos e informáticos ubicándolos cerca de las principales bolsas de negociación alrededor del mundo (Zook & Grote, 2017). Pues, como se menciona en la sección 4.2, los agentes financieros para no salir del ecosistema financiero computacional deben acelerar y mantener sus inversiones en tecnología, porque, adicional a las

técnicas de negociación utilizando inteligencia artificial, la capacidad y la ubicación de los servidores de negociación permiten un acceso más rápido a la información del mercado financiero que si este estuviera ubicado más lejos o no tuviera las capacidades para ejecutar rápidamente las transacciones, a pesar de que las interacciones financieras son en su gran mayoría actividades virtuales omnipresentes (Clark, 2002; Byrd, Hybinette, & Balch, 2019).

Entonces, era momento en que el grupo de agentes decidieran como se haría el proceso de la última simulación.

- Sergei decía: *Considero que no debemos concentrarnos solamente en un grupo de acciones o de divisas.*
- *Estoy de acuerdo. Considero que es adecuado concentrarnos en los agentes y en el número de interacciones sin importar cual sea el activo,* exclamaba Ethan.
- *¿Hay agentes que hacen varias operaciones en un segundo?*, preguntaba Evelyn.
- *Sí, conozco de varios agentes financieros que ya tienen estructuras automáticas de negociación,* respondía Taylor.
- *Es decir, ¿qué ellos han fortalecidos sus capacidades para afrontar una nueva forma de interactuar en el ecosistema financiero global?*, preguntaba Tulio.
- *Sí varios están mejorando su aptitud, por eso me han contratado* mencionaba Lorraine entre risas.

Para integrarse o mantenerse al nuevo ecosistema era necesario fortalecer permanentemente su aptitud  $f_i$ , pues esta influirá en la conectividad  $k_i$ , que conjuntamente determinaran la velocidad a la que se agregan nuevos enlaces a un agente financiero (ver Sección 5.3).

- *Ante eso, es posible que algunos agentes financieros o un grupo de ellos dominen el ecosistema,* exclamaba Archer.

- *Esto no será nuevo Archer, recuerda algunos agentes de tu país en el siglo XIX,* exclamaba Tom.
- *Con las siguientes simulaciones lo entenderán mejor,* les decía M a todos.
- *¡Qué bueno nos vamos de viaje otra vez!* Mencionaba Apu.
- *No Apu, esta vez la lluvia de colores y los viajes serán interactivos y computacionales,* le respondía Sergei.
- *No te preocupes, será como estar en el Festival Holi,* respondía Will.

Era momento de analizar uno de los mundos posibles que tendría el ecosistema financiero computacional en el que se identificarían algunos de los agentes con mayor aptitud en él y en el que sería posible encontrar algunos con mayor aptitud para desarrollar las actividades en alguna parte del ecosistema más que en otras, pero también ver cómo podría direccionar su aptitud para consolidarse globalmente. Aquí se incorpora el ecosistema financiero computacional sobre una estructura de dos dimensiones tradicional y se confronta con un espacio hiperbólico, en la que se pueden identificar más fácilmente algunas de las características de las interacciones de los agentes financieros en microtiempos. Posteriormente, se hace una representación de lo que sería un ecosistema financiero computacional en un milisegundo ( $10^{-3}$ ), incluyendo algunas variaciones en la latencia y acercándose a representar un ecosistema financiero computacional en un microsegundo ( $10^{-6}$ ).

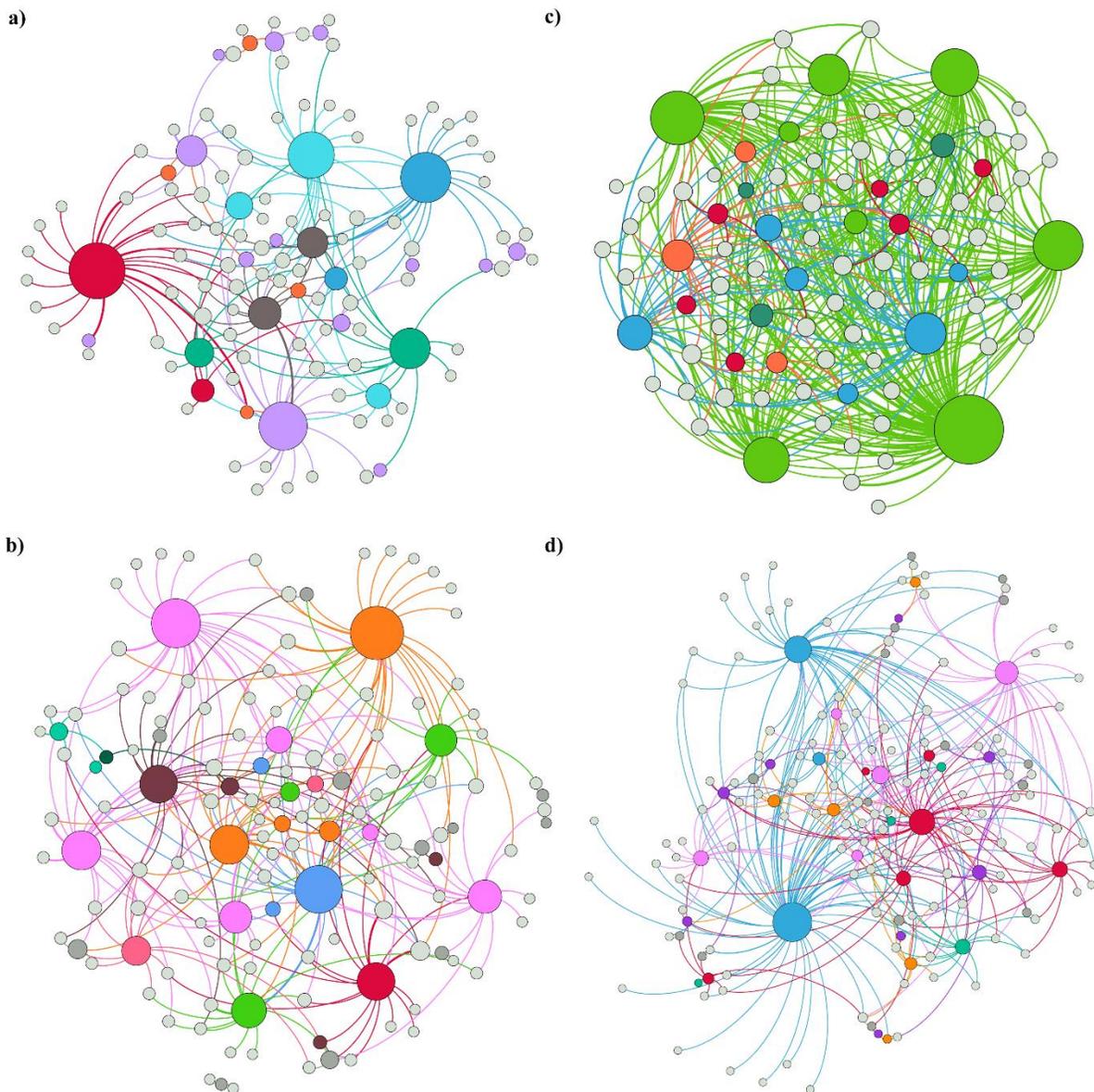
- *¿Cómo sería el ecosistema computacional en un segundo bajo una escala de milisegundos?*, preguntaba Evelyn.
- *De acuerdo con los supuestos anteriores varios agentes en algunos mercados podrán presentar un menor número de operaciones en una escala de milisegundos,* le respondía Ethan.

- *El mercado alemán puede catalogarse como un mercado mediano dentro de los mercados más grandes, exclamaba Wilhelm.*
- *Aunque en mi país se hacen muchas más transacciones, decía Apu.*
- *En el mío aún más, respondía Zemin, el programador chino que había ayudado en la primera parte del libro de códigos.*
- *Ok. Señoras y señores. Presentaremos los resultados con mayor nivel de operación y valorización. Además, con datos que permitan hacer las simulaciones.* Decía seriamente M.

Los mercados que se analizaron en una primera etapa fueron los mercados de acciones de Japón, Inglaterra, Alemania y el mercado Euronext que reúne los mercados de acciones de Ámsterdam, Bruselas, Lisboa, Dublín, Oslo y París como el más importante. De acuerdo con las estadísticas de la Federación Mundial de Bolsas de Valores, Japón realiza más de 900 millones de transacciones electrónicas anuales, seguido por la Bolsa de Londres con 340 millones, Euronext con 224 millones y 133 millones la Bolsa de Frankfurt. Ajustando las operaciones con los supuestos de simulación y bajo un escenario en el que el uso de la tecnología de la inteligencia artificial hace más frecuente las operaciones de Bolsa, se puede identificar un nivel de operaciones por segundo que oscila entre 400 y 800 transacciones, mientras actualmente en algunos mercados este valor oscila entre 30 y 50 transacciones, es decir, una transacción cada veinte milisegundos.

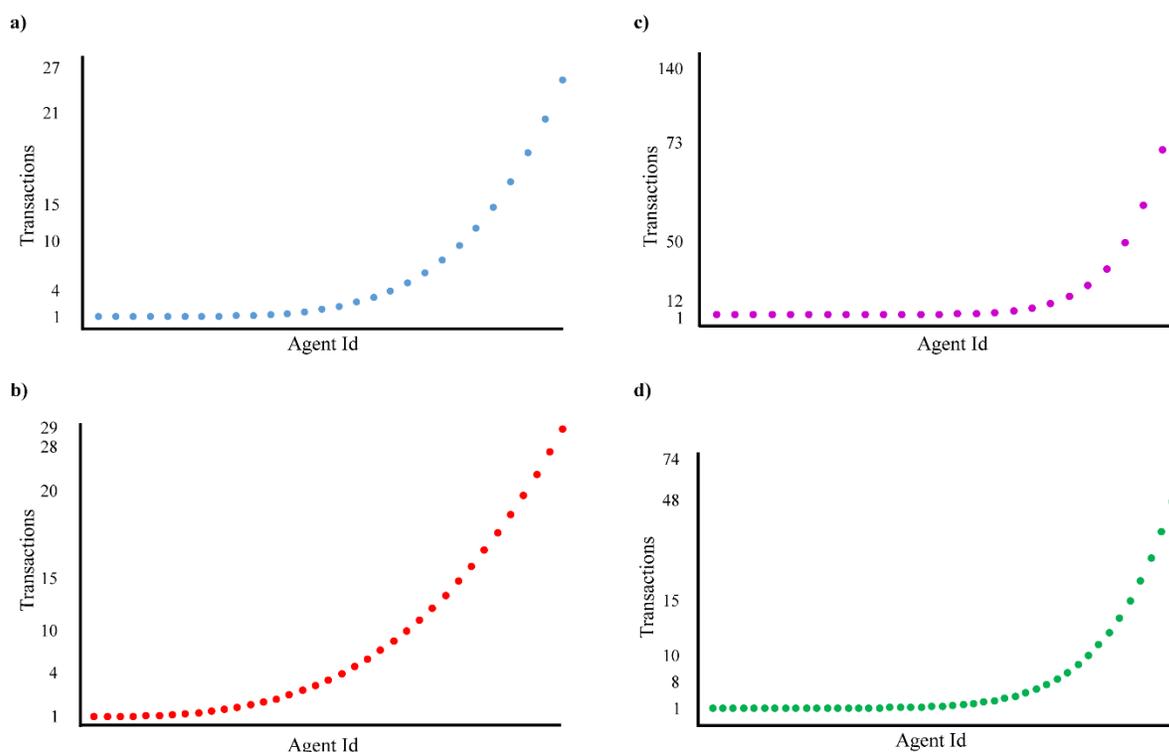
A partir de esto, se encontraron los siguientes resultados de las primeras simulaciones (ver Figura 6.12), en la que cada mercado se define inicialmente con el número actual de transacciones y a partir de ahí se establece la cantidad de transacciones en microtiempos. Así mismo, se destacan los agentes financieros con altos niveles de aptitud para desarrollar un mayor número de interacciones electrónicas a partir de su capacidad tecnológica y la implementación de la

inteligencia artificial en las operaciones de negociación, que para la visualización cuentan con los colores más visibles mientras los agentes con menor interacción en estas unidades de tiempo tienden hacia los colores grises. En este caso, varios agentes financieros han tomado la delantera al implementar más pronto las nuevas tecnologías para desarrollar actividades como la de negociación de acciones en los mercados globales.



**Figura 6.12.** Topología de operaciones entre agentes en un segundo sobre una escala en milisegundos.  
a) Alemania. b) EuroNext (Francia). c) Japón. d) Inglaterra.

Para el caso del mercado accionario alemán (Figura 6.12a), en el que actualmente existen 152 agentes financieros que realizan operaciones de intermediación de acciones, las simulaciones arrojaron que de las 200 transacciones posibles que pueden realizarse en un segundo, se realizaron efectivamente 192 o, lo que es lo mismo, una cada 5,20833 milisegundos entre 118 agentes financieros. En otras palabras, la intermediación de los agentes financieros se va a consolidar a partir de la capacidad de gestionar mayores volúmenes de operaciones electrónicas y, a través de estos mecanismos, logran mejorar o fortalecer su aptitud en los mercados financieros globales.



**Figura 6.13. Distribución de las operaciones por agente financiero.**

**a)** Alemania. **b)** EuroNext (Francia). **c)** Japón. **d)** Inglaterra.

Por tal razón, es necesario considerar que aquellos agentes que no logren incorporar las transformaciones tecnológicas en estos mercados podrán ser agentes financieros que sean desplazados hacia otras actividades o que desaparezcan del ecosistema financiero global, pues, de

las transacciones efectivamente realizadas en la simulación del mercado alemán, el 100% fueron generadas por 28 agentes financieros y el 77% por solamente 10 de estos agentes. Para este caso, se puede confirmar que emerge un patrón y es una mayor concentración de las actividades en el ecosistema financiero computacional (ver Figura 6.13a) o simplemente identificar la aptitud para realizarlas.

Para el caso de EuroNext y su mercado más importante, el francés, se identificaron 146 agentes financieros que operan actualmente, con una topología en la que se destacan algunos agentes como los de mayor grado de conexión (ver Figura 6.12b). De las 300 transacciones posibles fueron efectivas 292 transacciones, que involucraron a 137 agentes con una equivalencia de una transacción por cada 3,42465 milisegundos. Sin embargo, estas transacciones fueron generadas en un 100% por 37 agentes, mientras que el 70% fueron generadas por solamente diez de estos agentes financieros. Una menor concentración con respecto al caso anterior, pero confirma la mayor aptitud de algunos agentes para operar en este mercado (ver Figura 6.13b).

Para el mercado japonés se identificaron 86 agentes financieros que operan actualmente, pero a diferencia de los dos casos anteriores, existe un agente que concentra más de la quinta parte del mercado, lo que se destaca también en las simulaciones (Figura 6.13c). De las seiscientas transacciones posibles fueron efectivas 597 generadas por 26 agentes y en las que interactuaron la totalidad de los agentes. Sin embargo, el 88% de las transacciones están concentradas en diez agentes financieros y el 72% solamente en seis de ellos, creando unos agentes concentradores de operaciones (ver Figura 6.12c); lo cual puede ser confirmado en la estructura exponencial que tienen las transacciones de este mercado, pues la diferencia entre el primero y el segundo es de casi el doble de las transacciones. Entonces, los agentes financieros del mercado japonés estarían realizando una transacción cada 1,67504 milisegundos.

En el caso del mercado londinense, se presenta un mayor número de agentes financieros que en los anteriores ejemplos, pero mantiene el patrón de la concentración en los principales operadores del mercado de acciones. De las 400 transacciones posibles fueron efectivas 394, en las que estuvieron involucrados 161 agentes de un total de 188, pero las operaciones solamente fueron generadas por 46 agentes y de estos, diez concentraron el 70%. Al igual que el caso de Japón, se destaca que solamente un agente es el mayor generador de operaciones con casi una quinta parte de ellas creando una concentración con un par de agentes más (ver Figura 6.12d) y haciendo más pendiente la curva de operaciones por agente en el grupo líder y más plana en los operadores más pequeños (ver figura 6.13d). No obstante, la participación global de esos agentes centrales en los mercados de Japón e Inglaterra no es significativa, pues sus actividades o no existen en los demás mercados o son reducidas.

Finalmente, en los cuatro mercados se presenta una mayor aptitud de algunos agentes financieros, lo que ratifica una de las características mencionadas anteriormente. Es decir, aquellos que fortalezcan su capacidad tecnológica podrán ganar mayor participación en el mercado en el que operan. Si se hiciera una combinación de los mercados europeos a través de una estructura multicapa, la topología de la red agrupada podría destacar algunos otros agentes financieros que son consistentes en los tres mercados. Así mismo, se podía integrar el mercado de Estados Unidos, ya que, en algún momento del día, sus horarios de operación coinciden con los europeos, algo que no ocurre con el mercado japonés y, en general, con los mercados asiáticos.

Con este primer reporte, los agentes entendían la importancia de identificar el ecosistema financiero computacional a través de redes, pues eran más visibles varias características y patrones que se presentaban en él. Sin embargo, Taylor proponía otra forma que había sido plasmada en

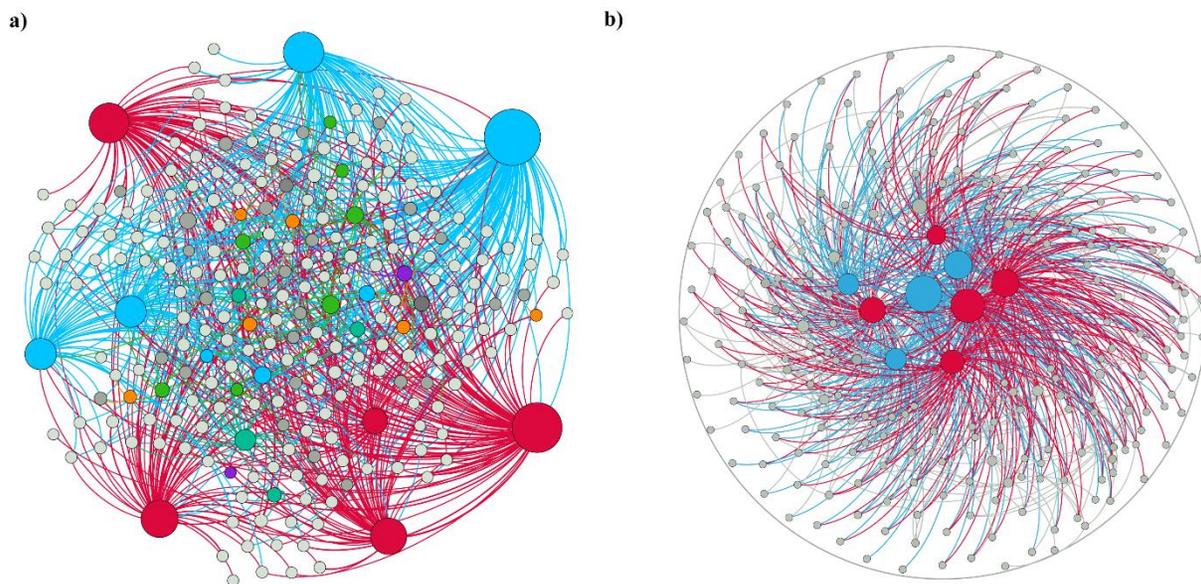
varios de los viajes a Kazán y en las diferentes emergencias que se habían encontrado a lo largo del recorrido.

- *Ahora podemos conocer el ecosistema en un plano hiperbólico*, exclamaba Taylor.
- *¿Es necesario?*, preguntaba Evelyn.
- *Es otra forma de entender el ecosistema computacional*, respondía Taylor.
- *Es hacer gala a la geometría, que nos da otra forma de interpretar la emergencia global del ecosistema financiero computacional*, mencionaba Sergei.
- M cerraba la conversación: *Para entenderlo mejor lo haremos para el caso del mercado de Estados Unidos, pues es el que mayor cantidad de interacciones puede generar.*

Entonces, se empezaron las simulaciones para los principales mercados de acciones de Estados Unidos, Nasdaq y NYSE. Para este caso se encontró una red más robusta y diversificada en la que de los 244 agentes que participaron en la simulación de 266 posibles, 221 presentaban una fuerte conexión, así como un grado promedio de conexión teniendo y no teniendo en cuenta los pesos de 4,041 y 3,443 respectivamente (Grafica 6.14a). Adicionalmente, se destaca que de las 1.000 transacciones posibles fueron efectivas 985 en las diferentes iteraciones realizadas y, similar a los mercados previamente analizados, se identificaron algunos agentes con mayores medidas de centralidad, lo que impacta en la generación de conexiones para desarrollar las negociaciones. En otras palabras, las transacciones fueron generadas por 59 agentes financieros (22% del total) y de estos agentes, diez son responsables del 80% de las transacciones. Lo que destaca la preferencia por interactuar con algunos agentes en especial y, a su vez, por la aptitud de estos agentes de atraer a los demás para que interactúen con ellos.

Con el plano hiperbólico y algunas variaciones podríamos descubrir nuevas características del ecosistema, como las debilidades de las correlaciones o la independencia de las interacciones entre

los agentes financieros. Algunas de estas variantes pueden ser restrictivas, pero ayudan a identificar elementos que no son fácilmente visibles en las topologías presentadas anteriormente. Sin embargo, varias de las características mencionadas en el plano tradicional se confirman en el plano hiperbólico y ayudan a identificar características geométricas y la importancia de algunos agentes financieros y sus grupos de interacción (Figura 6.14b).



**Figura 6.14. Topología de operaciones en un segundo sobre una escala en milisegundos.**

**a)** Topología en planos tradicionales de los mercados de Estados Unidos. **b)** Mercados de Estados Unidos sobre un plano hiperbólico.

- *Fue una buena decisión haber hecho una parada en Budapest y Kazán, mencionaba Will.*
- *Implementar los planos hiperbólicos confirman la emergencia global del ecosistema a partir de las simulaciones realizadas, exclamaba Evelyn.*

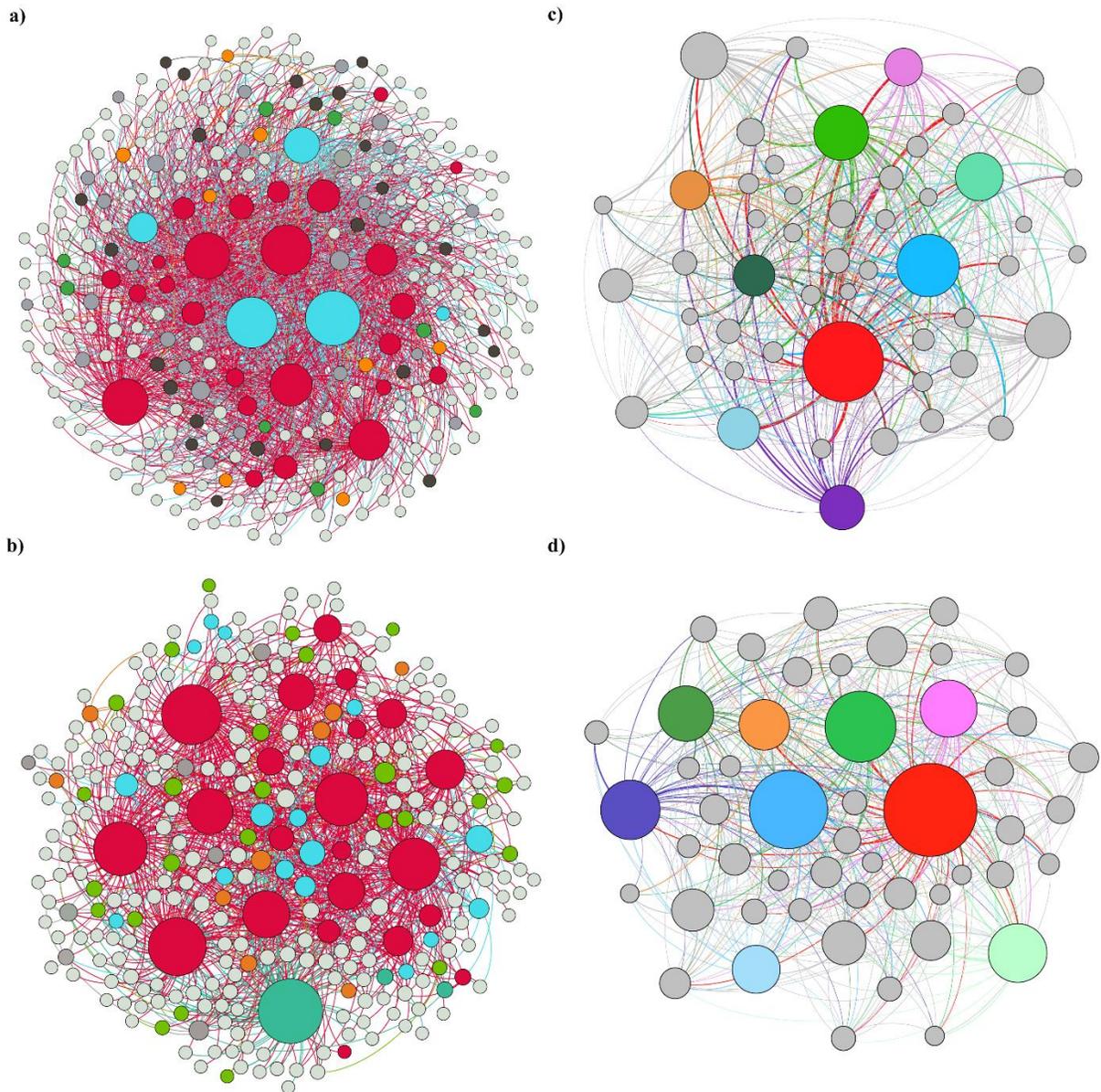
Con esto se había logrado reducir el escepticismo de Evelyn y de algunos otros agentes. Sin embargo, al parecer querían una mayor confirmación.

- *¿Qué pasa si hay alguna afectación en la red que transporta la información? ¿Qué efectos tendría en el ecosistema?*, preguntaba Evelyn.
- *Ya hemos hecho varias simulaciones teniendo en cuenta las distancias globales, pues estas son más relevantes a la hora de identificar los impactos generales de la latencia*, respondía Sergei.
- *¿Qué pasa con las pequeñas distancias?*, preguntaba nuevamente Evelyn.
- *Los impactos que genera la latencia en pequeñas distancias pueden no ser relevante a la hora de revisar el ecosistema en general, pero si lo puede ser para una parte de él*, respondía Will.
- Rápidamente intervenía M y decía: *Eso lo analizaremos posteriormente.*

Entonces, para robustecer el análisis era necesario integrar la latencia y, a partir de ahí, comparar cuáles podrían ser los impactos en la topología de las redes que conforman el ecosistema financiero computacional. Los resultados mostraban que los cambios podrían afectar considerablemente la topología siempre y cuando las operaciones tuvieran interacciones desde diferentes puntos geográficos, así como una reducida centralidad por parte del lugar en el que se realizan las operaciones. Para el mercado de acciones combinando, es decir, una red resultante de las capas de los mercados de Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Alemania, se conformaría una red por 297 agentes, lo que indica que varios agentes financieros operan en los cuatro mercados, pues de ser sumados individualmente se hablaría de 660 (ver Figura 6.15a). La cantidad de operaciones por segundo ascendería a 1.863 de 1.900 posibles y, a su vez, esto podría darse entre las horas del día en que los cuatro mercados se encuentran abiertos simultáneamente. Por otro lado, el mayor número de operaciones se generan de manera local y un porcentaje no mayor al 10% para los mercados francés y alemán se realizan fuera de ellos, 15% para el caso de Inglaterra y un 20% para

el caso de Estados Unidos; es sobre este valor que se definen los impactos de la latencia. Sin embargo, las ordenes son ejecutadas por los agentes financieros en cada uno de sus mercados, lo que presenta un reducido cambio en la topología de la red global agregada de acciones, pues por temas de latencia se reducirían las operaciones a 1.446 operaciones por segundo y realizadas por 292 agentes financieros. En otras palabras, los escenarios simulados en los que se incrementa la latencia afectan el número de operaciones en mayor proporción que el número de agentes conectados, pues, las operaciones se reducen en 22.4% mientras los agentes solamente dejan de operar siete, es decir, 1.68% (ver Figura 6.15b).

Para el caso de los mercados de divisas, la latencia tiene un mayor efecto, pues es un mercado que, aunque tiene centros de operación importantes como Londres, Nueva York, Singapur, Frankfurt, Tokio y Hong Kong por nombrar algunos, las operaciones tienen una mayor interacción entre agentes financieros alrededor del mundo para lograr obtener la transacción requerida. Sin embargo, en cada uno de los mercados locales existe un grupo de agentes financieros que participan activamente en sus mercados pero que su participación en el mercado global puede ser marginal, dependiendo de cuál sea su mercado núcleo. En este caso no se puede comparar el agente financiero local con mayor nivel de operaciones en un mercado como el colombiano contra el mayor operador en el mercado londinense, pues este último tiene actividades de orden global de las cuales puede generar un mayor valor que otros agentes de mercados más pequeños. De esta forma, el análisis global sin latencia y con los supuestos de simulación pueden presentar una posibilidad de generar aproximadamente entre 1.000 y 2.500 transacciones por segundo, en los que el 95% de las operaciones está concentrada en 50 agentes financieros (Figura 6.15c) y el otro 5% entre otros agentes globales y agentes locales en cada uno de los mercados en los que los agentes globales pueden interactuar.



**Figura 6.15. Latencia y operaciones globales en milisegundos.**

**a)** Red agregada de los mercados de Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Alemania sin latencia. **b)** Red agregada de los mercados de Estados Unidos, Inglaterra, Francia y Alemania con latencia. **c)** Mercado global de divisas sin latencia. **d)** Mercado global de divisas con latencia.

Sin embargo, al ser operaciones globales cuando se incorporan las restricciones de latencia, el ecosistema puede sufrir una caída de transacciones por segundo entre 15% y 25%, dependiendo de cuál sea la distancia geográfica, los saltos de red que deban dar los agentes para conectarse con

otro agente (Figura 6.15d). Entonces, a una mayor distancia geográfica la latencia influye en el ecosistema financiero computacional, por esta razón, es factible que para operaciones de alta frecuencia que no requieran de interacciones globales tan pronunciadas como las del mercado de divisas o mercados más pequeños, pero igualmente globales, como los mercados de materias primas y bonos se vean afectados por la infraestructura tecnológica. Entonces, los microespacios volvían a ser relevantes, pero al parecer las operaciones en microsegundo estarían distantes si las operaciones todavía se veían afectadas con niveles de latencia de entre 100 y 150 milisegundos, pareciera que la integración del tiempo-espacio debía esperar, pues primero debíamos acercarnos a los microsegundos.

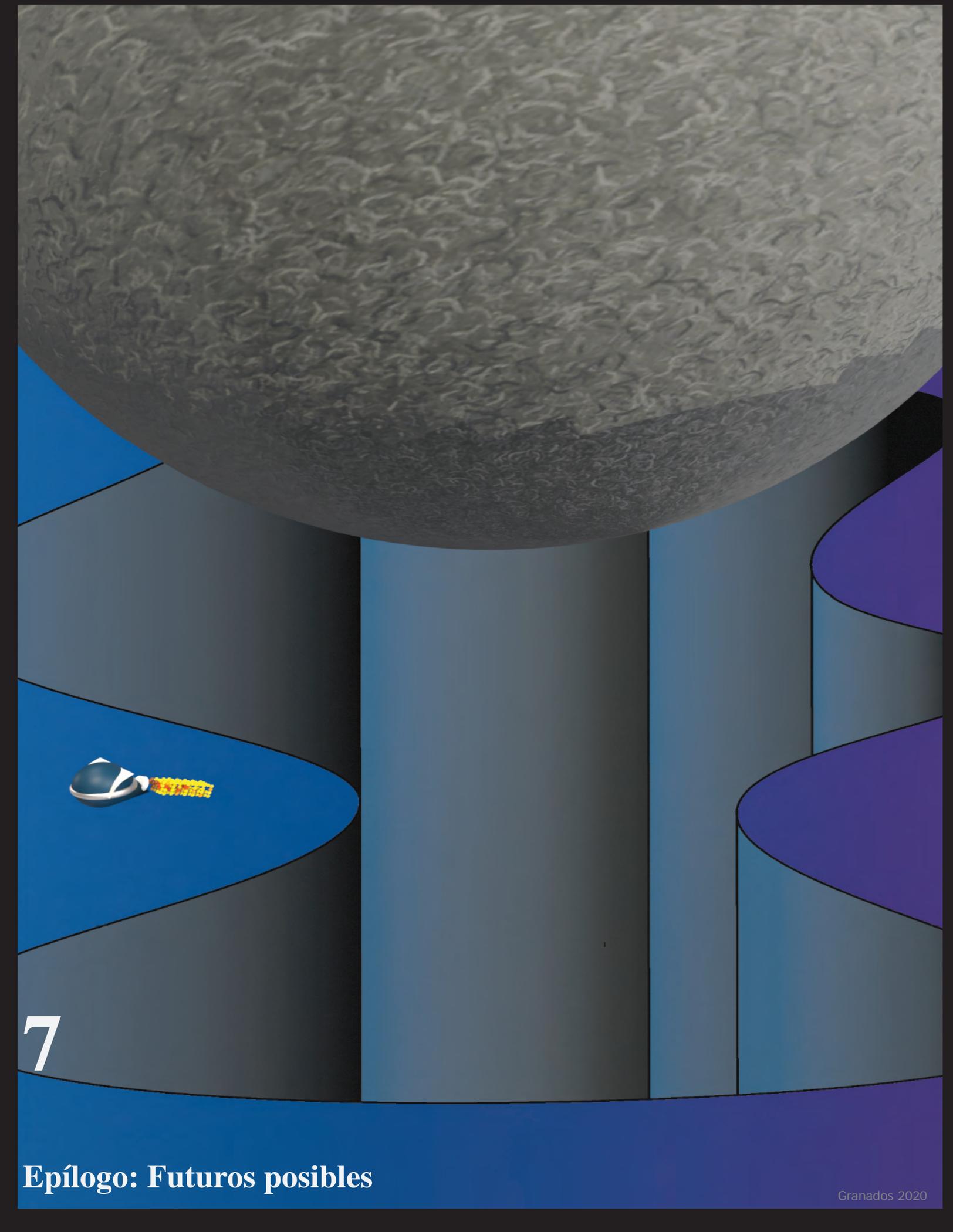
Al presentar los últimos resultados, M le daba la palabra a Will para que clausurara las reuniones en la oficina central y cada uno regresara física o virtualmente a sus oficinas en los diferentes lugares del mundo.

- *Will por favor, cierra nuestra reunión, le decía M.*
- *¿Por qué yo?, preguntaba Will*
- *Will, tú serás mi reemplazo y quien guiara los diferentes futuros posibles que construirán cada uno de estos agentes que han estado involucrados en la formación como agentes y en el proceso de simulación, exclamaba M.*
- *Tenemos mucho trabajo que hacer, pues este es el inicio para entender la emergencia global de un ecosistema que seguirá evolucionando, exclamaba Sergei.*
- *¿Que pasara con nosotros?, ¿la inteligencia artificial nos sobrepasara?, exclamaba Evelyn.*

- *No Evelyn, interactuaremos con ella. Será parte de una sinapsis en la que nuestras inteligencias se integren y en la que posiblemente ya no existan diferencias entre una u otra,* respondía Will.
- *Si, nuestra mejor inteligencia no es la artificial. Ese es el nuevo slogan del agente financiero en que yo trabajo,* mencionaba George desde Londres.

Todos se empezaron a despedir y algunos a desconectarse del chat que los había unido durante varios días de trabajo y mientras eso sucedía, Will, quien salió rápidamente, les había dejado una nota en la puerta de salida que decía lo siguiente:

- *Es posible que nuestros análisis lleven a que se reduzcan las interacciones entre los agentes humanos y los agentes financieros como hoy las conocemos, pero también se abren las puertas para que aquellas interacciones entre hombre y maquina sean cosas del pasado y nos acerquemos a interacciones en las que el agente humano interactuará con los agentes financieros de la misma forma que lo hacen a su interior varios impulsos en su organismo como las interacciones entre las neuronas. Serán futuros posibles que superarán los límites de nuestros sentidos pero que serán necesarios entender. Nos vemos en cualquier lugar.*  
Will.



7

# Epílogo: Futuros posibles

## 7 Epílogo: Futuros posibles

Los agentes habían regresado a sus lugares de origen y algunos habían llegado a confinarse por la avanzada del virus que se contagiaba por el contacto físico. Algunos se preocupaban por el origen del virus, pero era tal la expansión global que había logrado en tan poco tiempo que confirmaba que los ecosistemas computacionales no eran solamente resultado de las transformaciones tecnológicas, sino que empezaban a convertirse en una de las formas más indicadas para interactuar durante este tipo de eventualidades. Sin embargo, la convergencia de tecnologías sería necesaria y fundamental.

Ante las calles desoladas de su país, Guido mencionaba por el chat del código:

- *Llevo días pensando en las simulaciones que hicimos y confirmo que no fue en vano entender que es necesario revisar los ecosistemas computacionales.*

Pero nadie le contestaba.

- *Desde mi ventana veo la cúpula que ayudó a construir una familia de banqueros, pero hoy no con dinero sino con mi conocimiento ayudo a los agentes financieros a avanzar en un nuevo ecosistema, exclamaba Guido.*

Parecía algo melancólico, pues su ciudad se veía desolada ante la avalancha del virus. Al leer entre líneas las frases de Guido, Zemin le dijo:

- *Hola, amigo, trata de no preocuparte...busca más bien cuidarte. Ya pronto pasará esto.*
- Guido le preguntó: *¿Será que es hora de volcarnos hacia los ecosistemas que hemos simulado?*
- *Puede ser apresurado, pero claramente será parte de uno de nuestros futuros posibles,* respondió Will.

- *Los futuros posibles requieren entender nuestra humanidad de una forma diferente,* exclamaba Zemin.
- *No solamente será nuestra humanidad, serán nuestros sentidos, nuestra forma de percibir la vida, de interactuar en una sociedad humana y no humana,* exclamaba Sergei.

Al escuchar la conversación, M quería hacer una última misión con todos los agentes que habían participado y también con aquellos aprendices que iniciaban su formación y los que la terminaban como nanoagentes.

- *Antes de dejarle mi puesto a Will, los invito a iniciar un nuevo viaje. Un viaje en varias dimensiones que nos permitirá entender y visualizar los futuros posibles,* exclamaba M.

Entonces, era tiempo de empezar un nuevo viaje que nos llevaría a entender lo limitado que habían estado nuestros sentidos y cómo las distancias que hasta hace poco habían dejado de ser importantes, nuevamente lo volvían a ser, pues, en los microtiempos los impactos podrían ser diversos, así como en diferentes capas y escalas y en ocasiones, más importantes de los que se había creído anteriormente.

## **7.1 Superando el límite de nuestros sentidos**

Al tomar la decisión de iniciar un nuevo viaje, M estaba preocupada por la decisión que se había tomado de cancelar cualquier actividad en la oficina central, sin embargo, era necesario avanzar y, para esto, les envió a todos sus agentes alrededor del mundo un mensaje cifrado que contenía muchas de sus historias en más de cuarenta años como agente y les decía a los agentes nuevos y experimentados, las oportunidades que se tendrían. M buscaba, como parte de sus últimas actividades en la oficina central, invitar a todos los agentes para que participaran en este reto de consolidar los ecosistemas computacionales. Su mensaje decía:

- *Desde finales de la década de 1960, he estado participando en diversas actividades como agente y pronto entendí la importancia de fortalecer los ecosistemas computacionales, aquellos lugares que se veían lejanos para algunos, pero que durante varios años habían sido usados por varios agentes no financieros. En la década de 1980, entendí los errores a los que nos podía llevar un abuso de estos ecosistemas, pues varios de ellos se habían integrado con la condición humana más que con la inteligencia natural y pusieron en jaque varias veces a la especie humana. Las décadas siguientes mostraron los avances tecnológicos, pero varios de ellos les dieron la oportunidad a los agentes humanos de buscar ventajas sobre las demás especies, mientras otros eran aprovechados para mejorar los procesos de interacción. En los próximos años, los agentes humanos entenderán su vulnerabilidad y acudirán en mayor medida a consolidar la simbiosis de los ecosistemas y la sinapsis de las inteligencias.*
- *¿Qué pasará con lo que nos enseñó Descartes?, preguntaba Evelyn.*
- *Sigue siendo importante, pero es hora de analizar los ecosistemas como un todo en el que interactúan varios agentes y en los que es necesario articular varios saberes para entenderlos, argumentaba M antes de seguir con su comunicado.*

Con la interrupción de Evelyn, varios se preguntaban si sería bueno continuar en la misión, pues era posible que varios desistieran ante las nuevas formas de entender las interacciones y la forma en que evolucionaría la inteligencia natural. Varios se comparaban con la situación de Galileo cuando sus hallazgos científicos habían sido desprestigiados y cuando su publicación, *Sidereus nuncius*, que cuestionaba las teorías geocéntricas<sup>108</sup> había sido puesta en duda.

- *¿Dejaremos de ser el centro?, preguntaba Tulio.*

---

<sup>108</sup> Hacen referencia a que el planeta Tierra era el centro del universo.

- *Hace muchos siglos que lo hemos dejado de ser, solo que nos lo seguimos creyendo,* respondía Guido desde su ventana en la que alcanzaba a divisar el tejado de la que había sido la casa de Galileo en esa ciudad.
- *La interrupción de Evelyn es oportuna para cerrar este comunicado,* decía M.
- *Hoy, estamos definiendo algo tan importante como lo hizo Galileo: romper paradigmas y superar el límite de nuestros sentidos,* exclamaba M.
- *¿Por qué?,* preguntaba Evelyn.
- *Porque Galileo logró que se rompieran los límites de los sentidos y permitió entender varias cosas que estaban más allá de las paredes de algunas ciudades y de lo que profesaban unos pocos,* respondía Carl, uno de los nanoagentes.

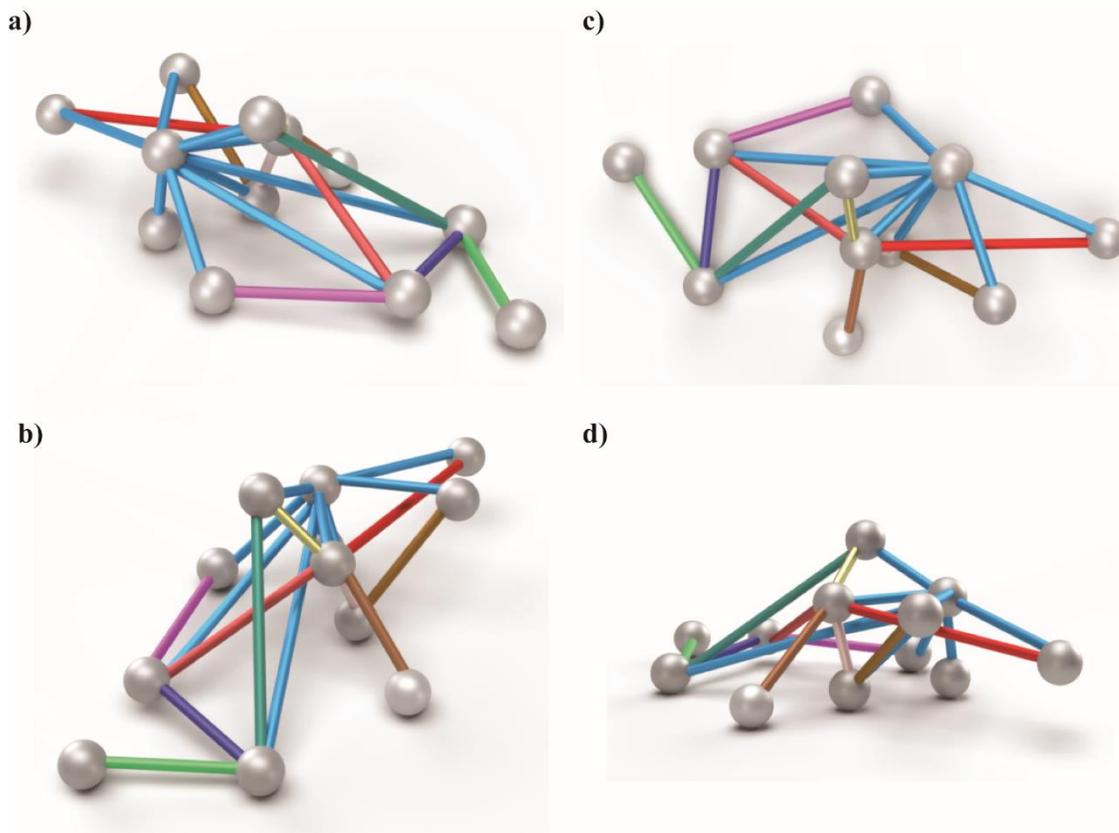
Varios se preguntaron, ¿quién es Carl?, pues sabían desde la última reunión que varios agentes ya se estaban retirando y que un grupo de nuevos agentes vendría a apoyar la última misión. Entonces, ¿cómo entenderíamos en adelante el ecosistema financiero computacional? era la pregunta que quedaba en el ambiente.

Lo primero era establecer que este ecosistema ya existía y que en las misiones y simulaciones anteriores se habían identificado varias formas de cómo emergía globalmente el ecosistema financiero en escenarios computacionales y de microtiempos, pero estos escenarios debían abrirse para ser abordados en más dimensiones, es decir, sería una posibilidad para romper con el límite de nuestros sentidos.

- *Ya pronto no estaré al frente de este equipo y por eso Will, les presentará nuestro último trabajo,* decía tristemente M.

Will mientras exponía sus resultados mostraba la felicidad por la llegada de un nuevo equipo, pero también la tristeza de ver partir a su mentora M, mientras ella se sentaba a un lado de la sala y desactivaba su cámara.

- *Podemos identificar un ecosistema financiero computacional en microtiempos a través de tres dimensiones*, exclamaba Will.

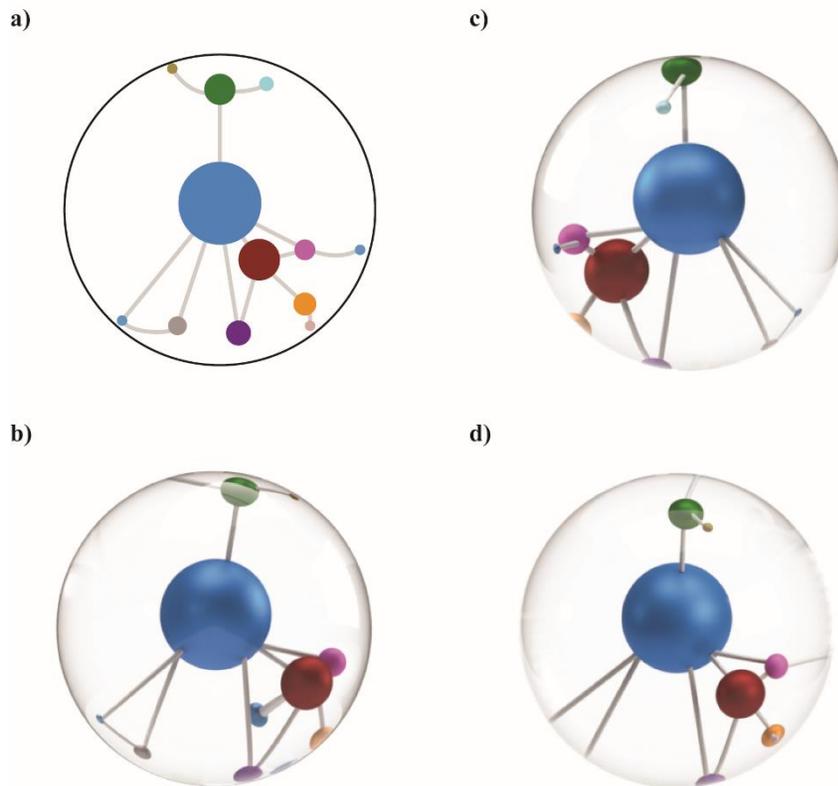


**Figura 7.1. Diferentes perspectivas de una red de 10 milisegundos en tres dimensiones.**

Todos se fijaron en la pantalla y percibían que los sentidos se abrían de otra forma al ver las interacciones de un ecosistema que no era afectando por la latencia de las redes, es decir, era una parte del ecosistema que, aunque estaba en un espacio digital, físicamente los agentes no se encontraban muy distantes, pues se podían representar interacciones en 10 milisegundos sin ningún contratiempo. Sin embargo, al igual que las representaciones anteriores, la aptitud de algunos

agentes no dejaba de ser el elemento principal de este grupo de interacciones y sus diferentes perspectivas (Figura 7.1).

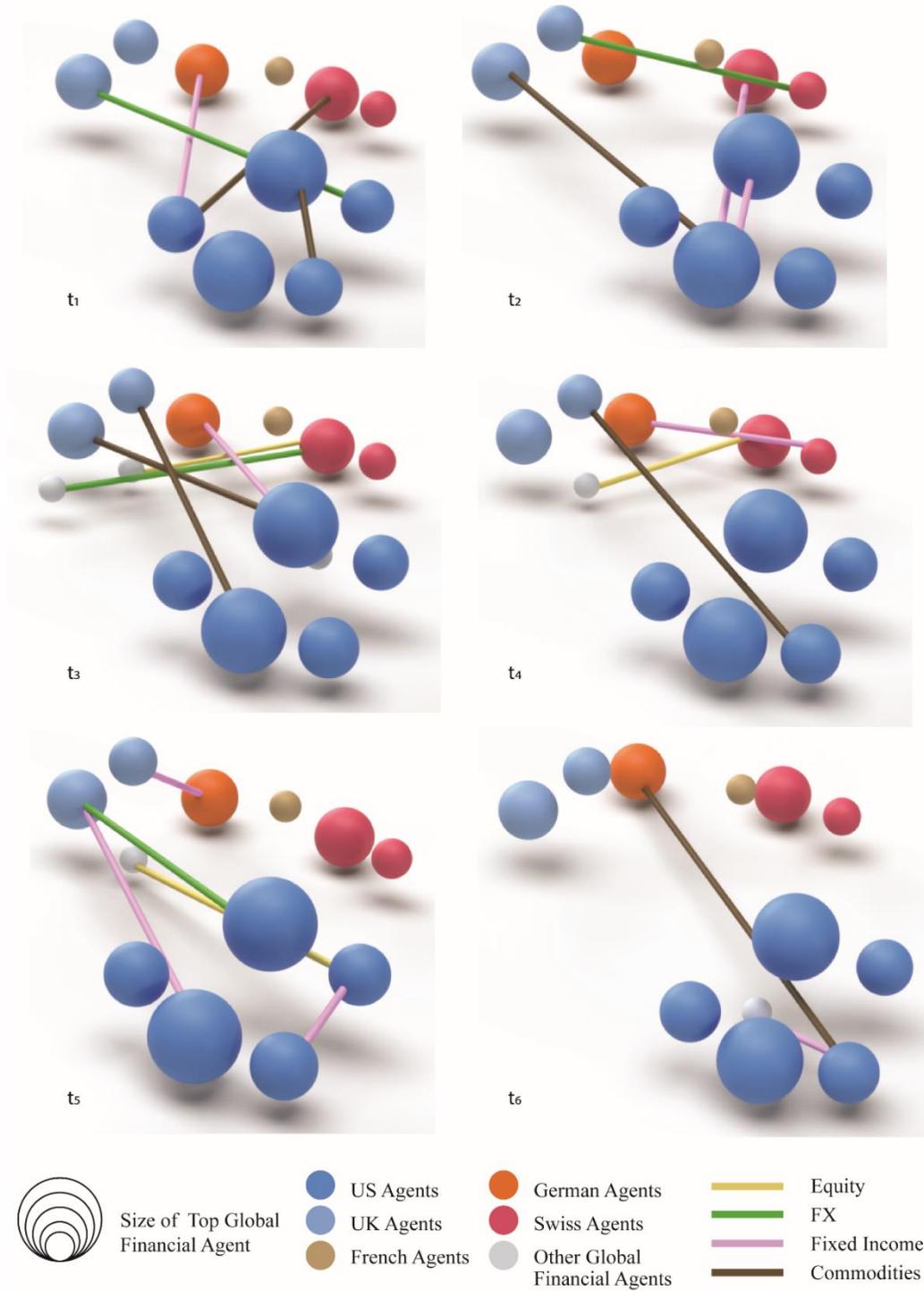
- Evelyn con su tradicional resistencia decía: *¿En qué nos ayuda entender el ecosistema en tres dimensiones?*
- Uno de los nuevos integrantes del equipo de nanoagentes al ver su resistencia y conociendo su origen, le decía: *es como te lo enseñé en la Universidad de San Petersburgo.*
- *¿Es usted, profesor Dima?,* exclamaba con sorpresa y alegría Evelyn.
- *Sí Evelyn, soy yo, el profesor Dima. Recuerda que también te lo enseñé en planos hiperbólicos.*



**Figura 7.2.** Diferentes perspectivas de una red de 10 milisegundos en plano hiperbólico en tres dimensiones.

Las perspectivas en planos hiperbólicos confirmaban las características del ecosistema financiero computacional en milisegundos y permitía entender cómo interactuaban los agentes en un disco de Poincaré en tres dimensiones (Figura 7.2). Esto confrontaba el entendimiento de cómo podría definirse un ecosistema en microsegundos, pero para esto era necesario antes entender la visualización de un plano hiperbólico en tres dimensiones. En el plano hiperbólico también serían visibles aquellos agentes con mayor aptitud para generar interacciones, pues se concentraban en el centro, mientras aquellos que se iban alejando perdían relevancia con respecto a los agentes de mayor aptitud, al punto de llegar a aquellos agentes más cercanos a los bordes del disco.

Para acercar nuestros sentidos a un ecosistema financiero computacional en microsegundos, era necesario integrar varios tipos de interacciones que facilitarían el entendimiento en esta escala de tiempo. No lo podíamos hacer exclusivamente en una sola parte del ecosistema, sino que era necesario integrar en tres dimensiones las operaciones del ecosistema financiero computacional de los principales mercados globales de activos financieros, especialmente cuando los horarios de operación y los usos horarios permiten tener los mercados de América, Europa, África y algunos pocos de Oriente Medio conectados al mismo tiempo. Al integrar los mercados de acciones, bonos, divisas y bienes básicos en un momento del día, lográbamos acercarnos a la escala de los microsegundos como resultado de la agregación de una red multicapa, pues varios de los principales agentes financieros del ecosistema interactúan simultáneamente en los diferentes mercados, lo que facilitaba identificar sus interacciones en la frontera entre milisegundos y microsegundos (Figura 7.3).



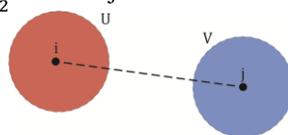
**Figura 7.3. Secuencia topológica en 3 dimensiones de operaciones en un milisegundo.**

Sin embargo, surgía una serie de aspectos que eran necesarios discutir, pues el ecosistema podría sufrir situaciones similares a las de una estrella cuando su núcleo se degenera y empieza su contracción hasta su desintegración; aunque lo más probable, es que en ese largo tiempo de inercia cósmica se genere, a partir de los residuos de esa estrella, una nueva estrella que tiene como particularidad una interacción que no influye drásticamente en la evolución de los agentes humanos; mientras que el ecosistema financiero hace parte de la interacción humana y no sabemos cuándo puede dejar de existir o si definitivamente dentro de su evolución, puede encontrar transformaciones que lo mantengan de la misma forma que se mantiene la especie humana y solamente se de su muerte cuando la humanidad deje de existir. Por lo tanto, nos podemos preguntar, ¿sí existen o no límites al ecosistema financiero computacional? Si lo analizamos matemáticamente desde el límite de un espacio topológico posiblemente sí, pero es necesario retomar y complementar algunos argumentos de la sección 4.4, para hacer esta verificación.

En un espacio topológico los entornos de un nodo miden el grado de proximidad del resto de nodos, lo que hace que esta característica defina varios parámetros esenciales para establecer la continuidad del ecosistema financiero computacional, pues aunque las propiedades de separación se refieren a la existencia de entornos disjuntos, es decir, que el grado de proximidad a un nodo impide mayor proximidad a otro nodo, es factible que los agentes financieros busquen la forma de mantener una distancia indicada para darle continuidad al entorno (vecindad)<sup>109</sup>.

---

<sup>109</sup> Un espacio topológico es de Hausdorff o  $T_2$ , en la clasificación de Kolmogorov, si dos puntos, en este caso dos nodos, tienen siempre vecindades disjuntas. Aunque, esta propiedad de separación es característica de los espacios métricos, se define como que si dos puntos  $i, j$  son distintos, su distancia no es cero y las vecindades  $\mathcal{N}$  (discos) con centro en estos puntos y con un radio  $r \leq \frac{d(i,j)}{2}$  son disjuntas.



De esta forma, los axiomas propuestos por Hausdorff establecen que a cada punto  $i$  le corresponde al menos una vecindad  $U(i)$  que contiene el punto  $i$ ; para dos puntos diferentes  $i, j$  hay dos vecindades correspondientes  $U(i)$  y

A partir de esa distancia se pueden definir las ideas de proximidad y convergencia que serán contundentes a la hora de definir la continuidad del ecosistema financiero, pues, así como se definió en las diferentes redes, la continuidad se logrará a partir de la posibilidad de crear nuevos espacios de los anteriores, es decir, sobre la importancia de evolucionar del ecosistema pero nunca como un espacio desconectado, debido a que este ecosistema se conecta con otros ecosistemas computacionales y se fundamentan sobre las interacciones de sus agentes en diferentes dimensiones.

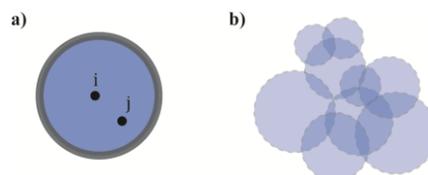
- Pero ¿el ecosistema financiero computacional sí se comporta como un espacio topológico en toda su expresión?, preguntaba Evelyn.
- Déjame aclararte algunos conceptos, respondía Félix, otro de los nanoagentes.

Para esto es necesario establecer algunos aspectos del ecosistema financiero como espacio topológico. Primero, ¿este ecosistema se comporta como un conjunto abierto?, es decir, un conjunto abierto hace referencia a que cada uno de sus nodos tiene una vecindad que está incluido en el mismo conjunto y que ningún de estos nodos pertenece a la frontera del conjunto<sup>110</sup>. Pues cada uno de los sistemas financieros funciona como un conjunto abierto en el que las limitantes

---

$U(j)$  sin puntos en común; si  $U(i)$  y  $V(j)$  son dos vecindades del mismo punto  $i$ , debe existir una vecindad  $W(i)$  que sea un subconjunto de ambos; si el punto  $i$  se encuentra en  $U(i)$ , debe existir una vecindad  $U(j)$  que sea un subconjunto de  $U(i)$ . Para una ampliación, véase: Hausdorff (1962), Willard (1970) y Munkres (2017).

<sup>110</sup> Un conjunto abierto es aquel en el que el conjunto de puntos  $i, j$  satisfacen  $i^2 + j^2 < r^2$  (contenidos en el disco gris), mientras el conjunto de puntos  $i, j$  que satisfacen  $i^2 + j^2 = r^2$ , son un conjunto de límites (contenidos en la circunferencia negra de la Figura a). Por otro lado, la unión de los dos conjuntos se establece como un conjunto cerrado. Mientras la intersección de dos o más conjuntos abiertos es abierta (Figura b). Para una ampliación de conjuntos abiertos, véase: Pérez (2015).



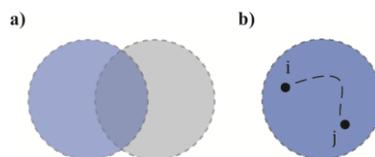
para que sea cerrado se pueden determinar a partir de la regulación que establezcan los gobiernos o las limitantes que tenga los mismos agentes para participar en otro mercado, geográficamente hablando. De esta forma, el ecosistema financiero computacional se conforma de conjuntos abiertos, pues se logra definir una vecindad para todos sus agentes y cada uno de los sistemas financieros al ser abiertos se intersecan y logran establecer un conjunto abierto en toda su dimensión espacial, pues siempre habrá conjuntos y subconjuntos abiertos en el ecosistema financiero computacional.

Por otro lado, sin importar las características de cada uno de los espacios topológicos, se puede decir que los diferentes subespacios topológicos del ecosistema financiero computacional tienen características que los hace homeomorfos, pues sin importar su variación siempre están conformados por agentes financieros que interactúan entre sí y que cuenta con una vecindad para desarrollar sus diferentes actividades. Se confirma, entonces, el argumento de que el ecosistema es conexo y no está separado, es decir, los espacios que lo conforman no están disjuntos<sup>111</sup>, lo que establece que el ecosistema pueda mantener su compacidad, pues es finito y puede alcanzar un máximo y un mínimo de agentes.

Otro aspecto por evaluar es la convergencia como parte del espacio topológico, pues los agentes financieros que participan en un ecosistema complejo interactúan de manera que el sistema

---

<sup>111</sup> La conexidad es una propiedad absoluta de la topología, pues son independientes de si es un espacio en sí mismo o si es un subespacio de un espacio más grande. Matemáticamente, se dice que un espacio topológico es conexo si no existen dos abiertos  $U, V$  disjuntos, tales que  $X = U \cup V$ , es decir, el espacio  $X$  se dice conexo si no admite una separación (Figura a). Así mismo, un espacio topológico  $X$  es conexo por caminos si dados  $i, j \in X$  cuales quiera existe un camino que une  $i, j$  (b). Para una ampliación de esta propiedad topológica, véase: Driver (2003).

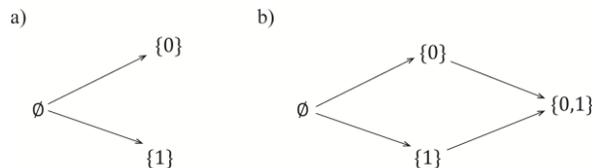


mantiene su continuidad, es decir, la convergencia y la continuidad del espacio topológico se relacionan y en ocasiones, pueden considerarse como dos manifestaciones de este hecho<sup>112</sup>. En otras palabras, sus interacciones, aunque no tienen un orden estricto, surgen aleatoriamente, siempre tienen una dirección y es así como las redes se conforman de conjuntos dirigidos<sup>113</sup>. Entonces, la continuidad y la convergencia del ecosistema financiero computacional se demuestran por la voluntad de los agentes de desarrollar una actividad en la que pueden interactuar un grupo finito de agentes financieros, pero en la que las interacciones se definen exclusivamente por las limitantes físicas, tecnológicas, humanas y computacionales que tenga cada uno de los agentes.

- *¿Cómo podemos identificar la convergencia y la continuidad bajo estos aspectos?*, preguntaba Tulio que era físico y no matemático.

<sup>112</sup> En Topología existen dos formas de verificar la convergencia: en filtros y en redes. Para este caso, el análisis se realiza para redes lo que facilita también entender el concepto de sucesión. Para una ampliación del concepto de filtros, los cuales también codifican y extiende el comportamiento de las sucesiones, así como de la convergencia en filtros, véase: Prieto de Castro (2013).

<sup>113</sup> Los conjuntos dirigidos son fundamentales para entender las redes. Un conjunto dirigido es un par  $(D, \leq)$  en el que  $D$  es un conjunto y  $\leq$  es una relación en  $D$  que verifica las propiedades de reflexiva y transitiva principalmente. De esta forma, los siguientes ejemplos pueden ayudar a entender la convergencia del ecosistema. Sea  $D \neq \emptyset$  un conjunto, una preorden sobre  $D$  es una relación  $\leq$  reflexiva y transitiva. Un conjunto preordenado es un par  $(D, \leq)$  donde  $D$  es un conjunto no vacío y  $\leq$  es una preorden sobre  $D$ . Si  $\alpha \leq \beta$  se dice que  $\alpha$  precede a  $\beta$ , o bien que  $\beta$  sucede a  $\alpha$ . La figura a) presenta un conjunto  $\{\emptyset, \{0\}, \{1\}\}$  ordenado por inclusión convirtiéndose en un conjunto preordenado y cada elemento tiene una relación de orden. Por otro lado, una dirección  $\leq$  es una preorden definido sobre un conjunto  $D \neq \emptyset$ , que satisface la propiedad de la precedencia universal, es decir, que dados  $a, b \in D$ , existe siempre un  $c \in D$  tal que  $a \leq c$  y  $b \leq c$ ; entonces, el par  $(D, \leq)$  es un conjunto dirigido si  $\leq$  es una dirección sobre  $D$ , que se presenta en la figura b). Para una ampliación de los diferentes tipos de conjuntos dirigidos, véase: Pérez (2015).



Si una red entre agentes financieros son parte del ecosistema<sup>114</sup>, se establece que esa red es parte del ecosistema y la topología de ese espacio determina la convergencia de las redes<sup>115</sup>, esto significa que esa convergencia permite que la continuidad se dé en el espacio topológico a partir de las redes<sup>116</sup>.

- *¿Pero entonces se puede establecer un límite a las redes?*, preguntaba Evelyn.
- *Depende*, le respondía Félix. *Pues existen redes que carecen de límite*, complementó.
- *En esto serán importantes las vecindades*, complementaba László.

Como se mencionó anteriormente, los límites del ecosistema son fácilmente distinguibles, sin embargo ¿cómo podría establecerse el límite a las redes que conforman el ecosistema? En primera instancia, es necesario entender las características de los agentes que conforman la red y para esto es fundamental la aptitud de cada agente, adicionalmente, el límite de la red estará definida por la capacidad que exista de los demás agentes de desarrollar actividades y conformar una vecindad. Entonces, los límites se perciben por las capacidades de los agentes y no por la posibilidad de generar nuevas interacciones que, igualmente, se vuelven finitas en el momento en que existan restricciones tecnológicas o de recursos para hacerlas. Los límites de una red se verán reflejados en las subredes, es decir, las subredes convergen al mismo límite que la red y a los límites del ecosistema<sup>117</sup>. Sin embargo, si existe el límite en una red no necesariamente debe ser un agente,

---

<sup>114</sup> Matemáticamente, una red en un espacio  $X$  es una aplicación  $r: (D, \preceq) \rightarrow X$  entre un conjunto dirigido  $(D, \preceq)$  y un conjunto  $X$ . De esta forma, la red se representa como  $(i_d)_{d \in D}$ , donde  $r(d) = i_d$ .

<sup>115</sup> El siguiente teorema explica matemáticamente este argumento. Sea  $X$  un espacio topológico,  $A$  un subespacio y  $i$  un punto, entonces,  $i \in \bar{A}$  si y solo si existe una red en  $A$  que converge a  $i$ .

<sup>116</sup> Matemáticamente, si  $X, Y$  son dos espacios topológicos,  $g: X \rightarrow Y$  será continua en el punto  $i_0 \in X$  si y solamente si para toda red  $(i_d)_{d \in D} \rightarrow i_0$  se cumple que  $g(i_d) \rightarrow g(i_0)$ .

<sup>117</sup> Matemáticamente y de manera general, un límite de una red puede estar dado de la siguiente manera: sea  $X$  un espacio topológico y  $(i_d)_{d \in D}$  una red en  $X$ . Se dice que  $i \in X$  es un punto límite de la red  $(i \in \lim_{d \in D} i_d)$  si la red esta en cada vecindad  $U$  de  $i$ , es decir, que para cada vecindad  $U$  de  $i$ , la red  $(i_d)_{d \in D}$  esta en  $U$ . De esta forma, el límite es  $i$  y allí es a donde converge la red. Representado de una forma más sencilla:  $\lim_{d \in D} (i_d) = i$ .

sino que puede ser un grupo de agentes<sup>118</sup>; también, se presenta la situación en que no existan límites en la red. En consecuencia y como una primera conclusión, el ecosistema financiero computacional no puede existir con un solo agente financiero.

Los nanoagentes habían confirmado las características del ecosistema y también habían explicado rápidamente las verificaciones que podría tener el ecosistema financiero computacional para proponer algunas perspectivas que fueran más allá del límite de nuestros sentidos, pues una red podría avanzar sin límites; tendríamos que identificar cuál podría ser ese límite con las integraciones de las inteligencias o si por el contrario, las restricciones al contacto físico podrían ser uno de los futuros posibles para que el ecosistema redujera sus posibles límites. Sin embargo, nuestros sentidos ya habían roto sus límites, pues al confirmar la estructura del ecosistema y verificar sus características topológicas era posible ingresar a microespacios y microtiempos que anteriormente los agentes humanos no habían tenido en cuenta en situaciones cotidianas. Era otra señal para salir de Eukaryote y empezar un viaje que ampliara la capacidad de nuestra imaginación y de la acción de nuestros sentidos.

## **7.2 Saliendo de Eukaryote**

Al iniciarse el hundimiento de Eukaryote en un hoyo negro, era necesario definir un nuevo destino que permitiera el avance de nuevos ecosistemas que emergían no solamente de una continua transformación y convergencia tecnológica, sino que, ante situaciones de aislamiento, se convertían en otra forma de interactuar entre los agentes humanos sin perder la posibilidad de avanzar como especie y no sucumbir ante la imposibilidad del contacto físico. Es decir, el

---

<sup>118</sup> En el caso de espacios topológicos con la propiedad de Hausdorff ( $T_2$ ), el límite, si existe, se reduce a un único punto.

ecosistema financiero no podía desestimar su importancia para los humanos y debía buscar un proceso más allá de los que se habían acostumbrado en Eukaryote.

Las simulaciones habían permitido entender cómo podría funcionar el ecosistema financiero computacional y se exaltaba las interacciones entre los agentes financieros y la posibilidad que se lograran con mayor facilidad en microtiempos. Sin embargo, los análisis no habían arrojado buenas perspectivas de las interacciones con los agentes humanos, pues estos utilizaban aún algunas herramientas que hacían difícil la interacción simultánea, pero al ver la situación que dificultaba el contacto físico era necesario buscar nuevas perspectivas ante el hundimiento de Eukaryote, las cuales debían ser rápidas y precisas. Es así como se vinculó definitivamente al grupo de los nanoagentes, aquellos que tenían mayores capacidades científicas, físicas y de entrenamiento para atender estas misiones, pues los ecosistemas globales serían cada vez más complejos y las adaptaciones debían ser lo suficientemente rápidas para no permitir la caída de la especie humana.

- *Entonces ¿debemos buscar otro lugar para los ecosistemas computacionales?*, preguntaban Evelyn.
- *Sí, posiblemente debemos incluir espacios más allá de los convencionales*, comentaba Sergei.
- *Sí debemos ir más allá del núcleo de Eukaryote*, respondía Will.

Los agentes habían distinguido que, para interactuar en espacios bilógicos y exobiológicos, se debían buscar espacios abiertos y no cerrados o agrupados exclusivamente por un núcleo.

- *Podríamos hablar de ecosistemas descentralizados, como la cadena de bloques de las criptomonedas que analizamos en Génesis*, exclamaba Taylor.
- *Es un buen ejemplo, pero los cambios serán muchos más fuertes a los que nuestros sentidos han estado acostumbrados*, exclamaba M.

- *Debemos apoyarnos en los nanoagentes*, mencionaba Ethan.

Era hora de iniciar otro viaje en el que posiblemente nuestro destino sería algún espacio más allá de Archaea y hacer una escala allí era vital, pues nos ayudaría a entender varios elementos para continuar nuestro viaje. Sin embargo, estaríamos guiados por unos agentes con mayores capacidades y quienes ya superaban las barreras de lo que había funcionado durante tantos siglos, pues la interacción física podría cambiar drásticamente a partir de ahora.

A nuestra oficina central llegaban varios nanoagentes que incorporarían un nuevo aliento para continuar con nuestra misión definitiva: abrir los futuros posibles que debíamos encontrar más allá de Eukaryote, pues Archaea sería una primera escala y debíamos pensar tan lejos como si nuestro destino final fueran algunas de las acompañantes de Júpiter, las lunas Ganímedes o Calisto.

- *Les presento a los nanoagentes que nos apoyarán*, decía Ethan.

Inmediatamente, Ethan fue interrumpido, pues se sentían algunas colisiones contra Eukaryote. Era necesario partir pronto e incorporarnos urgentemente en un viaje hacia Archaea. Cada grupo debía dirigirse a la nave que había sido informada de manera individual a cada uno de los agentes en un microsegundo, sin problemas de latencia, pues la inteligencia artificial de la oficina central se había integrado a nuestras señales cerebrales. No se había recibido un código, un mensaje o una instrucción verbal o escrita, nuestro cuerpo automáticamente interpretaba la señal y corría a buscar el número que identificaba cada una de nuestras naves en el hangar de lanzamiento.

- *¿Viste cómo reaccionó tu cuerpo?*, le preguntó Dima a Evelyn.
- *Sí fue muy extraño, fue como reaccionar ante el peligro, pero sabiendo ya el número de nuestra nave*, le contestó Evelyn.
- *Es el inicio definitivo de la sinapsis de la inteligencia artificial y la inteligencia natural*, complementaba Ethan.

– *Se están creando un nuevo tipo de interacciones*, exclamaba Jack.

Al subir a las naves e iniciar el viaje hacia Archea, todos recibían la información de sus recursos para emprender su travesía. La información fluía tan rápido por su cerebro como si la información fuera la propagación de un impulso nervioso transmitido por una neurona, la sinapsis de las inteligencias había logrado una verdadera velocidad en microtiempos, pues si la velocidad habitual de transmisión entre neuronas estaba estipulada históricamente en 30 metros por segundo y la distancia entre dos neuronas, conocida como la hendidura sináptica, no era mayor a los 30 nanómetros, entonces estábamos recibiendo información transmitida en microsegundos, pues si se hiciera un rápido cálculo en un segundo se recorrerían casi 30 mil millones de nanómetros, en otras palabras, se realizaría un viaje de 30 nanómetros en un nanosegundo.

Era algo como si se iniciara una era de conciencia digital en la que nuestra información financiera, que tanto tiempo había tenido que esperar en los anaqueles o bóvedas de un banco, pasara rápidamente desde un servidor en algún desierto o lugar apartado del mundo a nuestras mentes, sin máquinas que sirvieran de intermediarios. Nuestro viaje debía continuar para identificar varios de esos cambios y los futuros posibles.

Era, entonces, la finalización de los agentes financieros como los habíamos conocido; era el momento en que las relaciones con estos agentes se convertían en una interacción directa con los agentes humanos donde las máquinas que intermediaban el proceso ya no existían, porque se había logrado interconectar la inteligencia artificial que soportaba todos los sistemas de información con nuestra inteligencia natural.

Nos olvidábamos de los cajeros automáticos, de las tarjetas bancarias y mucho más de los cajeros y asesores que atendían en las oficinas, pues la intermediación de algunas máquinas se reducía y a su vez, se transformaba, pues ellas ahora podían interactuar más fácilmente con los humanos.

Igualmente, nos olvidábamos de la forma en que habían operado los agentes financieros para hacer sus operaciones de acciones, bonos, divisas, bienes básicos y derivados.

- *¿Qué pasara con esas máquinas?, preguntaba Evelyn.*
- *Las máquinas tendrán una nueva era en la que el trabajo cognitivo será mayor, pero siempre basadas en una actividad definida, decía László.*
- *No es muy factible que una máquina pueda realizar cualquier tipo de actividad, por lo menos en el tiempo en que demoren nuestros próximos viajes al fin de esta galaxia, decía Carl.*
- *La inteligencia natural siempre sobrepasará la inteligencia artificial pues la evolución de ella lleva millones de años, mientras la artificial lleva menos de un siglo, exclamaba Will.*
- *Entonces ¿por qué es tan importante?, preguntaba Tulio.*
- *Simplemente porque ayuda a llevar a la inteligencia natural a otra dimensión en la que se podrán resolver más rápidamente situaciones propias de la cotidianidad de los agentes humanos, respondía Will.*

Los choques de las lunas de Eukaryote seguían afectando el planeta y ya pocas naves faltaban por salir de ese lugar. Eukaryote había sido un refugio de varios años para los agentes humanos y financieros, pues, cada vez que un nuevo elemento ponía en cuestión a nuestros sentidos se tenía la posibilidad de una diáspora intelectual que permitiera una nueva forma de entender las eventualidades y la cotidianidad de las sociedades, pero no siempre se tomaba la decisión de ir más allá; solamente lo hacían unos pocos. En este caso, la relación que se había tenido con el ecosistema financiero se perfilaba como una nueva era, pues este había sido parte de la evolución de la humanidad.

- *Al punto que son los primeros agentes que son salvados en las calamidades, crisis y pandemias, decía Sergei en tono irónico.*
- Todos echaron a reír y Will dijo, *es cierto.*

La última nave en la que estaba M y Tom Bishop e identificada con el número 001 salía de Eukaryote y se ponía a la delantera del grupo para guiarnos a Archea.

- *¿Qué pasará con los demás humanos?, preguntaba Evelyn a través del intercomunicador creado por la simbiogénesis entre los agentes humanos, los agentes financieros y las tecnologías de comunicación, el cual los conectaba a todos.*
- *Muchos han decidido quedarse en Eukaryote, decía Ethan.*
- *Para muchos no existen los cambios que rápidamente se avecinan, decía László.*
- *Entonces ¿será como ver la caída de Babilonia o Roma?, exclamaba Apu.*
- *Será diferente, pero sí será un cambio que inicialmente no será significativo para gran parte de la humanidad, en corto tiempo llevará a todos a entender la necesidad de convivir en un ecosistema computacional, respondía Will.*
- *Puede ser el resultado del confinamiento y las necesidades que surgen de él, más allá de un proceso tecnológico exclusivo, pero en el que cualquiera que sea la razón conducirá a la convergencia de las tecnologías, la simbiosis de los ecosistemas, la sinapsis de las inteligencias y la simbiogénesis de los agentes. Complementaba Ethan.*

Todos ya se encontraban viajando hacia Archea. Los agentes más jóvenes, los más experimentados y los nanoagentes se dirigían a definir nuevas perspectivas de los ecosistemas computacionales, en especial el financiero, pero tenían claro que la emergencia de este era parte de la emergencia de un ecosistema computacional más grande que reuniría a todos en una nueva Gaia, en la que Eukaryote, Bacteria y Archea se reunirían para entender de una forma diferente los

acontecimientos que habían involucrado miles de millones de interacciones humanas durante millones de siglos.

Pero ¿cuáles eran las limitantes para entender los cambios que traerían los ecosistemas computacionales?

Inicialmente, se podría identificar el miedo a entender de manera diferente nuestra evolución, pues, en una sola generación se podrían conocer los cambios que han tomado varias generaciones en otros momentos y que se lograban conocer a partir de la comunicación, su divulgación generación tras generación o a través de investigaciones científicas. Pero a su vez, es ver lo acelerado que se perfila la evolución de los ecosistemas que regirán a la humanidad, pues es factible que el aislamiento que se inició en algunos lugares del mundo desde el invierno boreal de 2020 sea el inicio de aislamientos más continuos ante otras eventualidades como los avances de circunstancias naturales, biológicas, sociales, políticas o económicas. En otras palabras, el miedo está en que la humanidad ve con una mayor cercanía su vulnerabilidad y por eso, los ecosistemas computacionales serán en gran parte la vida del siglo XXI.

Al llegar a Archea, todos se preguntaban cuál sería el siguiente paso.

- Tulio decía: *Preguntémosle a M.*
- *Ella ya no nos acompañara más, al igual que Tom Bishop,* decía Ethan.
- *¿Por qué?,* preguntaba Evelyn.
- *Es hora de que ellos disfruten de su retiro,* respondía Will.
- *Sus enseñanzas fueron vitales y permitieron la creación de un grupo especializado como son los nanoagentes,* mencionaba László.
- *Ellos nos guiarán con sus enseñanzas hacia nuestros próximos destinos,* comentaba Carl.

- *Lamentablemente la pandemia también los ha llevado a un aislamiento preventivo más estricto, comentaba László.*

Varios percibían que estas posibilidades que se avecinaban podrían fracasar, que las perspectivas que se estaban proyectando para encontrar los futuros posibles de los ecosistemas computacionales pudieran no ser válidas o no fueran fácilmente sustentables en el tiempo. Sin embargo, era necesario avanzar en ellas, pues el aislamiento en el mundo se profundizaba y una de las formas para que la sociedad lograra su sostenibilidad estaba sobre estos ecosistemas, pues por ellos podrían agilizar varias de las actividades que hasta ese momento se creía que la única forma para hacerse era de manera física.

Entonces, la sinapsis de las inteligencias tomaba más fuerza para operaciones en el ecosistema financiero más allá de las que se habían identificado anteriormente. Se estaban facilitando redes en la que los agentes avanzarían hacia otras formas de interacción y en la que la autonomía de los agentes humanos, en actividades como el manejo de sus recursos, volvía a funcionar sin ninguna dificultad o restricción. El ecosistema financiero se acercaba a interacciones con mayor descentralización, pues los agentes humanos estaban realizando directamente varias de ellas que habitualmente solo eran posibles únicamente por la intermediación de un agente financiero, era un poco de anarquía digital en un ecosistema computacional, pero sería una de las formas para reducir la centralidad. Aunque todos sabían que la centralidad de los agentes financieros iría avanzando aún más, pero nunca al punto de quedar en cabeza de uno sólo, pues su aptitud para atraer interacciones estaba fundamentada en la capacidad tecnológica que pudieran desarrollar rápidamente ante los avances inclementes de la conectividad y las interacciones digitales. Esto era necesario discutirlo con mayor profundidad.

Desde la biología se establece que los ecosistemas tienen agentes que tienen mejores aptitudes para desarrollar algunas actividades que otras y eso favorece el avance de los ecosistemas a partir del surgimiento de nuevas interacciones que van ajustando la emergencia del siguiente ecosistema. Los agentes humanos coevolucionarán con poblaciones de agentes no humanos que los cuadripliquen o quintupliquen, posiblemente más, pero la inteligencia natural será fundamental para el avance de la inteligencia artificial y esta a su vez, para la consolidación de la natural. En otras palabras, el agente humano definirá los avances a los que pueden llegar la sinapsis de las dos inteligencias, pero apoyado sobre los avances de la inteligencia artificial, son complementarias y, aunque aún la inteligencia natural define el siguiente paso para consolidar la sinapsis, vamos en la dirección de conocer la inteligencia de una forma que aún no conocemos.

En el ecosistema financiero también se presentarán algunos agentes que tendrá mayor habilidad y es factible que algunos tomen posiciones de agentes financieros sin serlo, pues la capacidad tecnológica juega un nuevo papel para que emerja un ecosistema computacional que evolucione constantemente a partir de la interacción de nuevos agentes y consolide su futuro o uno de sus posibles futuros.

Todo se basa en la capacidad que tengan los agentes humanos de adaptarse a los cambios más frecuentes que se presentan en el ecosistema financiero, pues al no adaptarse a estos cambios pueden llevar a que los agentes humanos no logren avanzar ante eventualidades como un aislamiento físico permanente.

- *No quisiera verme como los humanos en Wall-E*, decía Apu.
- *¿Wall-E?*, preguntaba Evelyn.
- *Sí una producción lanzada en 2008 por Jim Morris y escrita por Andrew Stanton y Jim Reardon*, respondía rápidamente Apu.

- *Todo dependerá de nosotros los humanos*, decía Will.
- *No seremos agentes diferentes, sino que conviviremos agentes humanos y no-humanos*, complementaba Ethan.

Se abría el espacio para que la sinapsis de las inteligencias permitiera la emergencia de nuevos agentes hasta llegar a cualquiera de los agentes que superaran a los nano, es decir, llegaríamos a los pico, los femto, los atto, los zepto y los yocto, pues cada vez era más visible la vulnerabilidad de los agentes humanos tradicionales, quienes nunca habían visto algo como lo que les estaba ocurriendo durante la pandemia del 2020; pues a diferencia de situaciones anteriores, era esta la única vez que un agente no humano, es decir, un agente biológico indistinguible por los sentidos había puesto en jaque a todo el mundo, a los países más poderosos, a las economías más fuertes y a las sociedades más escépticas. Un agente biológico en una escala que era necesario conocer con mayor detenimiento, la escala nano y la necesidad que surgieran ecosistemas que pudieran contrarrestar el avance de enemigos diferentes, diversos y no tradicionales. En otras palabras, se abría el espacio para la simbiosis entre lo biológico y lo exobiológico, lo físico y lo digital, la imaginación y la acción.

### **7.3 Nueva Gaia**

El tiempo en Archea no había sido tan extenso como el tiempo en Eukaryote, otra razón para que algunos agentes humanos no captaran la velocidad con que los cambios se presentaban. Sin embargo, con la pandemia se había incrementado la latencia en las redes de comunicación y varios de los más importantes agentes tecnológicos del momento habían decidido reducir la calidad de sus contenidos para permitir que las redes lograran mantener el incremento del tráfico digital. Entonces, ¿el ecosistema computacional dependía de la infraestructura física de telecomunicaciones? Efectivamente así lo era, entonces era necesario tomar la decisión de un viaje

más lejano para logra identificar como se podría transmitir la información de manera que no fuera afectada por la infraestructura finita que aún existía, que podría ser parte de los límites de las redes que mencionábamos anteriormente.

Sin embargo, los agentes financieros que mayor aptitud han tenido en su transformación tecnológica o aquellos que nacieron sobre plataformas tecnológicas robustas han ganado mayor participación en los diferentes mercados financieros del ecosistema computacional y posiblemente serían los ejemplos para identificar qué tipos de agentes tendríamos en el futuro. Intempestivamente se escuchó un alboroto y todos los agentes se aglomeraron en la plataforma de lanzamiento de Archea.

- *¿Qué pasa?, ¿por qué tanto alboroto?*, preguntaba Will.

Entre el alboroto se escuchaban algunas preguntas, que mostraban la preocupación de estar integrados en los ecosistemas computacionales y la posibilidad de depender cada vez más de ellos.

- *¿Qué haremos con los millones de datos que surgirán en nuestros ecosistemas computacionales?*, preguntaba Apu.
- *¿Qué haremos con la información falsa que puede influir en el avance de los ecosistemas computacionales, pero también en la cotidianidad de los agentes humanos?*, preguntaba Guido.

Todas estas preguntas se generaban al entender que la especie humana se sumergía en una nueva forma de interacción, que hacía que los temores fueran diferentes, pues se identificaba que los agentes humanos interactuarían indistintamente con otros agentes sin especificar qué tipo de agente era. Durante los siglos previos, varios elementos habían direccionado la forma de interacción entre los agentes humanos: algunos lo definían por su origen, por su raza, por su etnia o por su nivel socio económico, pero ahora, las discriminaciones que tan marcadas habían estado

entre los agentes humanos empezaban a desdibujarse porque no se entablaba una relación física con la mayoría de los demás. Surgía otra pregunta.

- *¿Habrá discriminación hacia la inteligencia artificial?*, preguntaba preocupado Víctor, otro de los nanoagentes. *¿Qué pasará con los agentes que integren la inteligencia natural y artificial en una sola?*, preguntaba nuevamente.
- *Por favor, vamos por partes*, exclamaba Will.

Muchas preguntas tenían que ser rápidamente resueltas antes de salir definitivamente, pues cada tiempo y espacio serían diferentes, es decir, el ecosistema financiero computacional y todos los ecosistemas computacionales tenderán a evolucionar permanentemente y muchos de sus cambios serán tan frecuentes que algunos no podrán ser visualizados por todos los agentes humanos. Era un viaje continuo a más de 700 millones de kilómetros que haría que cada uno de los agentes mantuviera una permanente alerta a los cambios que cada kilómetro del viaje traería. Entonces Will dijo:

- *Voy a tratar de resolver cada una de sus preguntas antes que reciban su asignación para iniciar nuestro viaje en una única nave.*
- *Sí Apu, cada día existen más y más datos que requerían nuevos sistemas de inteligencia artificial, pero también muchos datos simplemente serán datos que no se requieran para lograr consolidar los ecosistemas computacionales. Por esto, la sinapsis de las inteligencias permitirá enfocar cuáles datos serán adecuados para el avance de los ecosistemas y cómo con ellos podemos crear un mayor conocimiento que nos permita afrontar los diversos futuros que se le presenten a los agentes humanos.*
- *Sí Guido, esa es una preocupación que tenemos todos y por eso la inteligencia artificial ayudará para que nuestra inteligencia natural no sucumba ante las noticias falsas. Hoy un*

*gran porcentaje de los datos que se generan en otros ecosistemas computacionales diferente al financiero, son creados por algunos robots que usan herramientas de inteligencia artificial, pero nuestro propósito será buscar las formas para que podamos diferenciar la información falsa, pues será muy difícil combatirla en la nueva era de ecosistemas computacionales, en los que casi todos los agentes humanos interactúan en uno u otro.*

- *Manlio, otro nanoagente, interrumpían las respuestas de Will y decía: Muchos riesgos se presentarán en los ecosistemas computacionales, pues se crearán infodemias en la que existirán diferentes exposiciones a fuentes de información poco confiables, al punto de engañar y manipular cognitivamente a los agentes humanos.*
- *Pero Manlio, ¿quién se cree las mentiras?, decía Evelyn.*
- *No lo vas a creer. Sin importar tu lugar de origen, tus creencias, tu nivel socioeconómico o cualquier otra clasificación que los agentes humanos se han dado a sí mismos, se encuentran patrones,* respondía Manlio.
- *No dejaremos de convivir con las teorías de la conspiración, la ciencia basura, las noticias falsas y los engaños diseñados intencionalmente,* gritaba desde su estación de trabajo Ethan.

Ante los diversos aportes de los nanoagentes, se reactivaban las respuestas en la plataforma de lanzamiento, pues era necesario, antes de partir, aclarar varios aspectos de la integración de las inteligencias como herramienta para sortear las nuevas eventualidades de los ecosistemas computacionales.

- *Este será el punto de la integración completa entre las inteligencias, pues podremos usar otras herramientas adicionales como la topología del análisis de datos, complementaba Gunnar, otro nanoagente.*
- *Esta integración de las inteligencias y la alianza entre agentes humanos y no humanos tendrá un impacto en los esfuerzos por mantener a la especie humana y crear nuevos ecosistemas y procesos de interacción, decía Gunnar.*
- *Gracias Gunnar, has respondido mis preocupaciones, decía Víctor.*
- *Sin embargo, necesitamos integrar nuevas herramientas y conocimientos que nos permitan abordar la evolución del ecosistema. No podemos quedarnos únicamente con lo que ya hemos logrado, debemos buscar siempre nuevas alternativas para avanzar. No debemos quedarnos únicamente con lo aprendido, debemos buscar más en lo que no hemos aprendido.* Eran las palabras de László.

Los agentes habían identificado que el ecosistema seguiría evolucionando, pero que también podía caer en varias crisis, en las que los agentes humanos serían esenciales a través de la sinapsis de las inteligencias para lograr sortearlas, pues estas son oportunidades de evolución, pero que no todos los agentes lograrán superar. Algo parecido sucedía en el caso de los agentes financieros, pues estos se enfrentarían aún más a diferentes crisis en las que debían tener una mayor y más rápida capacidad de resiliencia, pues si los agentes interactuaban en microtiempos, las soluciones debían acercarse también a esta escala y lograr pasar al siguiente momento del ecosistema.

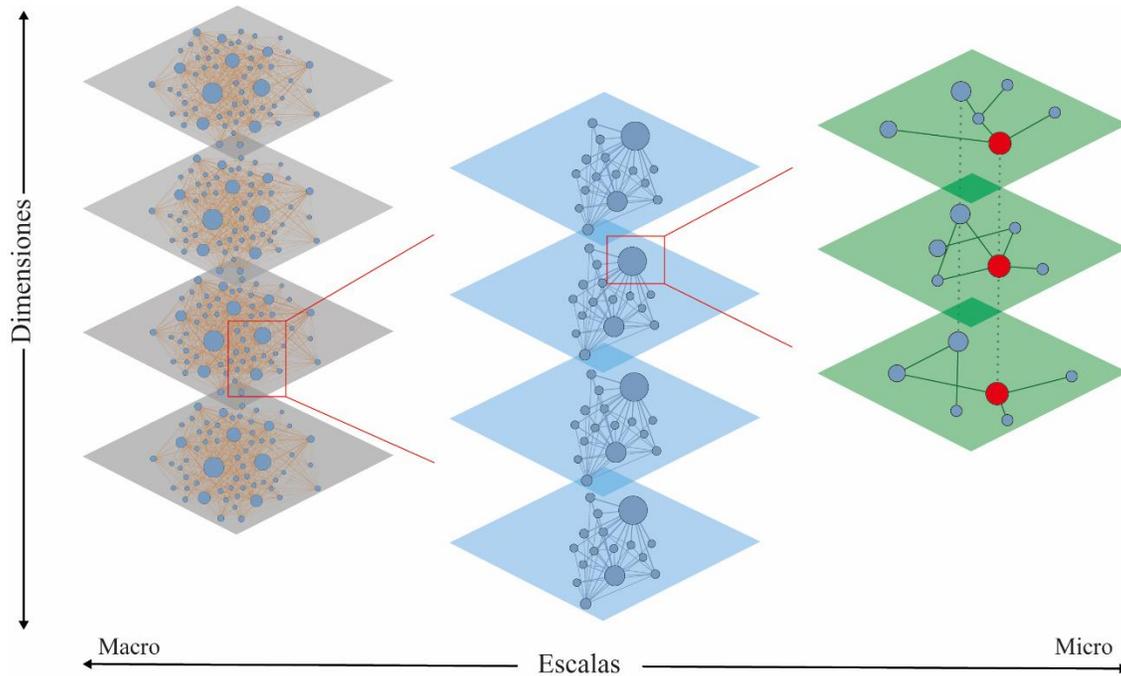
Pero entonces, ¿cuáles podrían ser las nuevas formas de abordar la creciente interacción computacional de los agentes humanos y no-humanos? Inicialmente, es la percepción transdisciplinar y de sistemas abiertos que interactúan constantemente, como se argumentó

desde el inicio. A partir de esta conclusión, se puede establecer que los ecosistemas deben ser visto como eso, como ecosistemas que tiene múltiples interacciones y agentes, y para eso la visión desde tres perspectivas como son las propiedades topológicas, analizadas anteriormente, y las propuestas multiescalares y multidimensionales facilitaran dos cosas: primero, el entendimiento de la estructura global del espacio-tiempo y segundo, el entendimiento de las interacciones en ecosistemas cada vez más complejos, pues estos tendrán mayores niveles de interacción en cabeza de un número finito de actores humanos y actores no humanos, que hará que varios de los agentes financieros y en general de otros agentes, deban ajustar su forma de interpretar las situaciones que se avecinan así como su forma de interactuar.

De esta forma, los ecosistemas financieros computacionales serán una parte de los ecosistemas computacionales y al interior de los primeros, así como de los demás, existirán una serie de interacciones homogéneas y heterogéneas que podrán influir en el ecosistema en general, por esta razón, se hace necesario integrar la vida computacional como otro componente de nuestras interacciones químicas, físicas y biológicas en los ecosistemas, así como interpretar a estos ecosistemas de la forma que fueron planteados en los anteriores capítulos y que pueden resumirse en la Figura 7.4.

- *Muchas propuestas son de nuestras ciencias*, decían indistintamente Guido, Tulio y Evelyn.
- *¿Qué pasará con las otras ciencias?*, preguntaba Evelyn.
- *Se enriquecerán, pues la división que hace siglos se hizo de ellas ya no funcionará, pues ante la complejidad humana y no humana de hoy y los diversos futuros posibles, los ecosistemas requieren ser abordados de forma transdisciplinares*, respondía Will.

- *Miren a Ethan, está participando con un grupo de más de 150 científicos alrededor del mundo para apoyar soluciones que reduzcan el impacto de la pandemia y todos tienen diferentes profesiones. No conoce a ninguno, pero a través de un ecosistema computacional están tratando de construir soluciones, concluía Will.*



**Figura 7.4. Ecosistema multidimensional y multiescalar.**

La importancia es que las sociedades y las Ciencias Sociales necesitan un mayor acercamiento a los ecosistemas computacionales pues allí será el lugar en que se desarrollarán gran parte de las interacciones sociales. Por esta razón, se abre la posibilidad de continuar la construcción de ciencias sociales computacionales y analizar y simular la complejidad de los sistemas sociales humanos, no humanos, biológicos y exobiológicos de una forma integrada con las ciencias computacionales, las matemáticas, la física y la biología. La simbiogénesis hará que las

dimensiones en las que interactúan los diversos agentes se conviertan en una red agregada que integra una nueva vida computacional, un estado X, una nueva Gaia<sup>119</sup>.

Asimismo, las ciencias sociales computacionales nos ofrecen herramientas complementarias a los experimentos habituales de las ciencias que permiten desarrollar nuevos protocolos y propuestas analíticas y logran ser más efectivas a la hora de subsanar o mejorar una situación de los ecosistemas, sin importar si es o no es computacional, pues se podrán definir y cuantificar las dimensiones socio-culturales, socio-económicas y socio-conductuales que se presenten en las interacciones de cualquier ecosistema.

Es necesario entrar en la sinapsis de las inteligencias y crear diversos y múltiples esquemas de inteligencia artificial que identifiquen y puedan sortear las formas de interacción en los ecosistemas computacionales, pues si en la segunda década del siglo XXI, los agentes humanos ingresamos libre y forzosamente a los ecosistemas computacionales, es probable que estos ecosistemas sean la nueva forma de interacción en lo que resta del siglo, pero también de aquellos siguientes siglos en los que estas letras sean diluidas por el olvido.

Ya era momento de partir y cada agente, mientras se dirigía a la nave, recibía una señal electromagnética a su cerebro para indicarle cuál sería su compartimiento para iniciar el largo viaje. Varios se sorprendían, porque su forma de vestir y de usar artefactos empezaba a parecerse a aquellas historietas del futuro recreadas desde tiempos de Asimov, Meskin, Lee, Kirby, Robinson, Ditko y muchos más. Aunque no era premeditado, varios cambios se habían dado como parte de la evolución de los agentes humanos y la necesidad de entender que era momento de ver el futuro más allá de lo que nos habían acostumbrado nuestros sentidos. Estábamos iniciando el

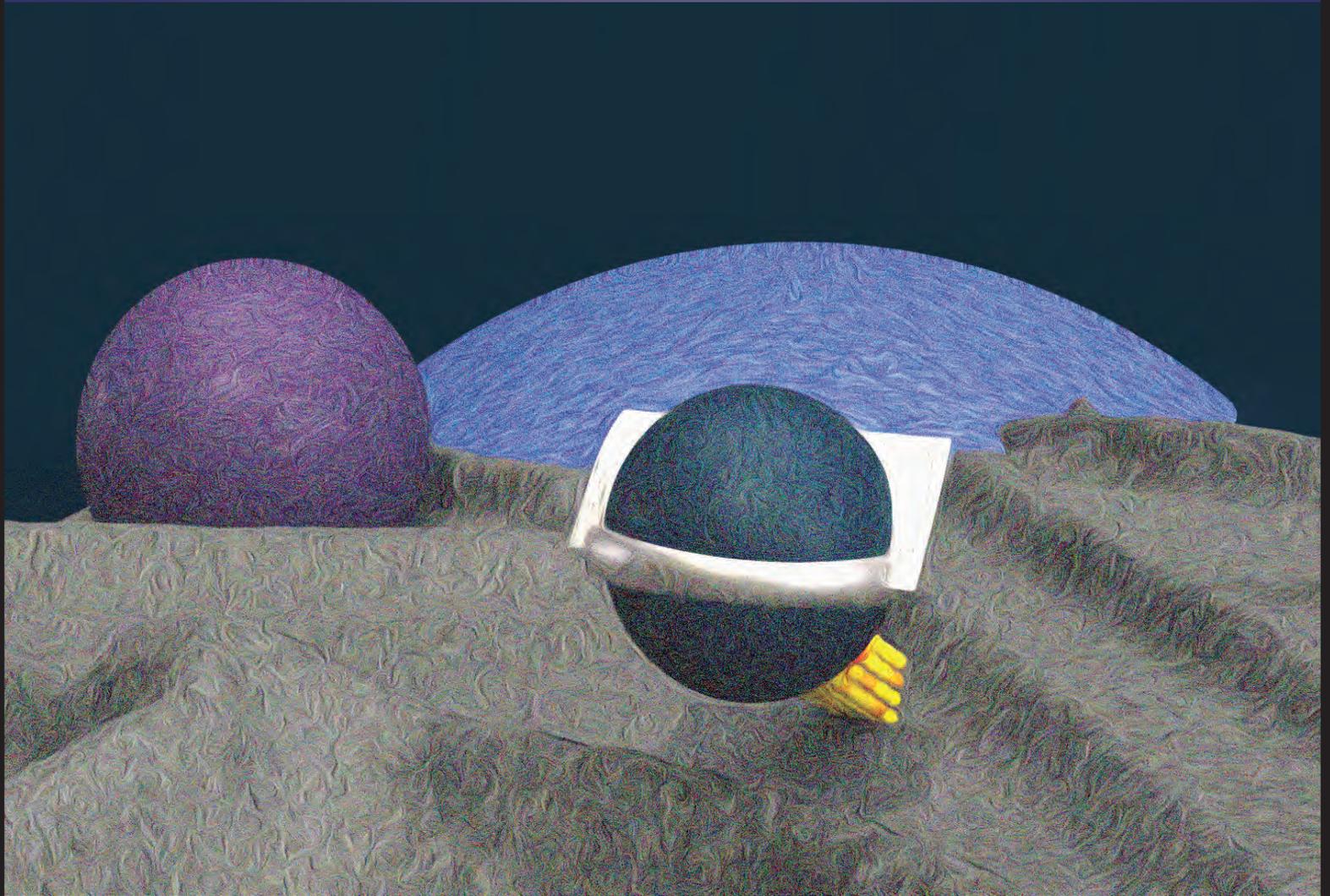
---

<sup>119</sup> Este concepto que se propone de nueva Gaia es una Gaia en la que se integra la vida computacional y la vida artificial a los componentes físicos, químicos, biológicos y humanos que la conforman.

viaje 2501 hacia las lunas de Ganímedes y Calisto, pero lo que realmente estaba sucediendo es que todos estábamos entrando a una nueva Gaia, la nave en la que emergerían los nuevos ecosistemas.

- *Es hora de partir, bienvenidos a su nave Nueva Gaia, código GaiaX*, decía Will.
- Por el intercomunicador cerebral, Ethan anunciaba el conteo de lanzamiento: *10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 0.*

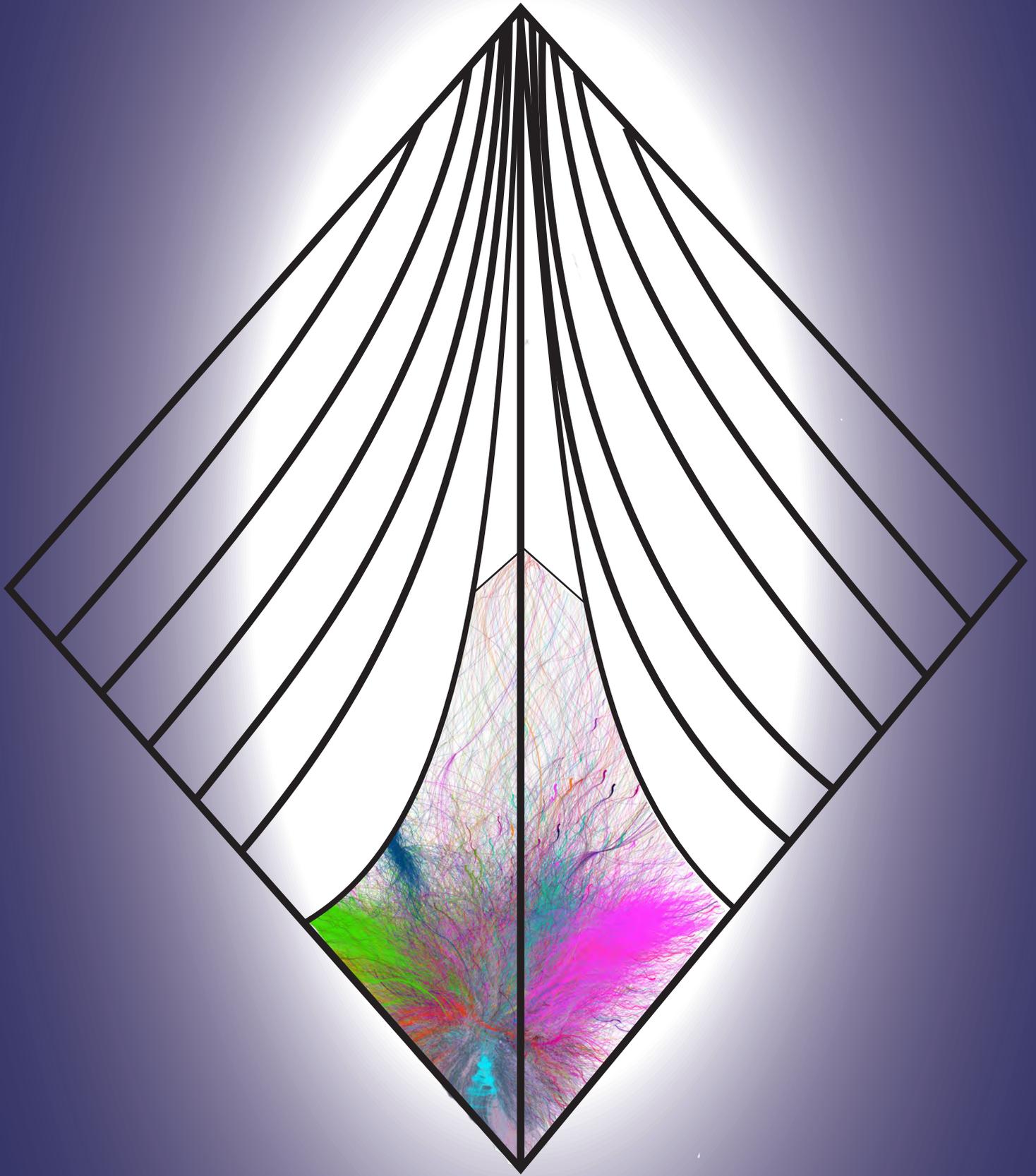
Se había iniciado un nuevo viaje, pero este no iniciaba en una sala de espera como había sucedido hace cuatro años, si no en una plataforma de lanzamiento y en que el confinamiento físico identificaba la importancia de los ecosistemas computacionales, artificiales y digitales más allá de lo que se había imaginado. La virtualidad, los microtiempos y los microespacios eran una nueva forma de vivir entre agentes humanos, no-humanos, biológicos y exobiológicos y en la que podríamos ir a cualquier lugar sin ir a ningún lado.





## B. Códigos del mercado de acciones

Empresa	Ticker	Empresa	Ticker
Apple	AAPL UN Equity	Verizon	VZ UN Equity
Microsoft	MSFT UN Equity	LVMH Moet Hennessy Louis Vuitton	MC FP Equity
Amazon	AMZN UN Equity	Merck	MRK UN Equity
Alibaba	BABA	Comcast	CMCSA UN Equity
Alphabet	GOOG UN Equity	Chevron	CVX UN Equity
Facebook	FB UN Equity	PepsiCo	PEP UN Equity
Tencent	700 HK Equity	Pfizer	PFE UN Equity
Alphabet	GOOGL UN Equity	Wells Fargo	WFC UN Equity
JPMorgan Chase	JPM UN Equity	Cisco Systems	CSCO UN Equity
Johnson & Johnson	JNJ UN Equity	Boeing	BA UN Equity
Visa	V UN Equity	Adobe	ADBE UN Equity
Mastercard	MA UN Equity	Oracle	ORCL UN Equity
Walmart	WMT UN Equity	NVIDIA	NVDA UN Equity
Berkshire Hathaway	BRK/B UN Equity	China Mobile	941 HK Equity
Procter & Gamble	PG UN Equity	SAP	SAP GY Equity
Bank of America	BAC UN Equity	Salesforce	CRM UN Equity
Intel	INTC UN Equity	Netflix	NFLX UN Equity
UnitedHealth Group	UNH UN Equity	Citigroup	C UN Equity
AT&T	T UN Equity	McDonald's	MCD UN Equity
Home Depot	HD UN Equity	L'Oreal	OR FP Equity
Coca-Cola	KO UN Equity	Abbott	ABT UN Equity
Exxon Mobil	XOM UN Equity	Medtronic	MDT UN Equity
Walt Disney	DIS UN Equity	Bristol-Myers Squibb	BMJ UN Equity



## Referencias

## Referencias

### Fuentes Primarias

Baring House Correspondence. The Baring Archive, London.

M.A. Rothschild, Records of the Rothschild banking and finance business. The Rothschild Archive, London.

J.P. Morgan Jr. Papers. Archives of The Pierpont Morgan Library, New York.

### Fuentes Secundarias

Abdou, M., Hamill, L., & Gilbert, N. (2012). Designing and Building an Agent-Based Model. In A. Heppenstall, A. Crooks, L. See, & M. Batty (Eds.), *Agent-Based Models of Geographical Systems* (pp. 141-166). London: Springer Science+Business Media B.V. doi:10.1007/978-90-481-8927-4\_8

Adas, M. (1989). *Machines as the Measure of Men* (2014 ed.). Ithaca, NY: Cornell University Press.

Affenzeller, M., Winkler, S., Wagner, S., & Beham, A. (2009). *Genetic Algorithms and Genetic Programming*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Aldasoro, I., & Alves, I. (2018). Multiplex interbank networks and systemic importance: An application to European data. *Journal of Financial Stability*, 35, 17-37. doi:10.1016/j.jfs.2016.12.008

Aldrich, H., & Martinez, M. (2001). Many are Called, but Few are Chosen: An Evolutionary Perspective for the Study of Entrepreneurship. *Entrepreneurship Theory & Practice*, 25(4), 41-56.

Allen, F., & Gale, D. (2000). Financial Contagion. *Journal of Political Economy*, 108(1), 1-33.

Allen, P. (2001). A Complex Systems Approach to Learning in Adaptive Networks. *International Journal of Innovation Management*, 5(2), 149-180. doi:10.1142/S136391960100035X

Aluru, S. (2004). Quadtrees and Octrees. In D. Mehta, & S. Sahni (Eds.), *Handbook of Data Structures and Applications* (pp. 19-1 - 19-26). Boca Raton, FL: CRC Press.

Amaral, L. A., Scala, A., Barthélemy, M., & Stanley, H. E. (2000). Classes of small-world networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(21), 11149--11152. doi:10.1073/pnas.200327197

Anderson, P. (1999). Complexity Theory and Organization Science. *Organization Science*, 10(3), 16-232. doi:10.1287/orsc.10.3.216

Anthony, D. W. (2007). *The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*. Princeton, NJ: Princeton University Press.

Arendt, H. (1958). *The Human Condition*. Chicago: The University of Chicago Press.

Arinaminpathy, N., Kapadia, S., & May, R. (2012). Size and complexity in model financial systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(45), 18338-18343. doi:10.1073/pnas.1213767109

Arrow, K. (1962). The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3), 155-173.

Arthur, B. (2015). On the Evolution of Complexity. In B. Arthur (Ed.), *Complexity and the Economy* (pp. 144-157). New York, NY: Oxford University Press.

Asratian, A. S. (1998). *Bipartite Graphs and their Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.

AT&T. (2003). *The Quality of Internet Service: AT&T's Global IP Network Performance Measurements*. Dallas, TX: AT&T.

- Axelrod, R. (2006). Agent-based Modeling as a Bridge Between Disciplines. In L. Tesfatsion, & K. Judd (Eds.), *Handbook of Computational Economics* (pp. 1565-1584). Amsterdam: North-Holland.
- Axtell, R. (2000). *Why Agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences*. Washington, D.C.: Working Paper The Brookings Institution.
- Axtell, R. (2007). What economic agents do: how cognition and interaction lead to emergence and complexity. *The Review of Austrian Economics*, 20(2-3), 105-122. doi:10.1007/s11138-007-0021-5
- Bäck, T. (1996). *Evolutionary algorithms in Theory and Practice*. Oxford: Oxford University Press.
- Bäck, T., & Schwefel, H. (1993). An Overview of Evolutionary Algorithms for Parameter Optimization. *Evolutionary Computation*, 1(1), 1-23. doi:10.1162/evco.1993.1.1.1
- Bainbridge, W., & Roco, M. (2006). Progressive Convergence. In W. Bainbridge, & M. Roco (Eds.), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations: Converging Technologies in Society* (pp. 1-7). Dordrecht: Springer.
- Bandura, A. (2001). Social Cognitive Theory: An Agentic Perspective. *Annual Review of Psychology*, 52(1), 1-26. doi:10.1146/annurev.psych.52.1.1
- Bankes, S. (2002). Agent-based modeling: A revolution? *PNAS*, 7199-7200. doi:10.1073/pnas.072081299
- Barabási, A.-L., & Albert, R. (1999). Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286(5439), 509-512. doi:10.1126/science.286.5439.509
- Barabási, A.-L., Gulbahce, N., & Loscalzo, J. (2011). Network medicine: a network-based approach to human disease. *Nature Reviews Genetics*, 12, 56-68. doi:10.1038/nrg2918
- Barabási, A.-L. (2014). *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Boston, MA: Basic Books.
- Barabási, A.-L. (2016). *Network Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bargigli, L., di Iasio, G., Infante, L., Lillo, F., & Pierobon, F. (2016). Interbank Networks and Multiplex Networks: Centrality Measures and Statistical Null Models. In A. Garas (Ed.), *Interconnected Networks* (pp. 179-194). Zurich: Springer. doi:10.1007/978-3-319-23947-7
- Barnes, J. (1969). Networks and Political Process. En J. C. Mitchell (Ed.), *Social Networks in Urban Situations: Analyses of Personal Relationships in Central Africa Towns* (págs. 51-76). London: Manchester University Press.
- Barrat, A., Barthélemy, M., & Vespignani, A. (2008). *Dynamical Process on Complex Networks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barrat, A., Barthélemy, M., Pastor-Satorras, R., & Vespignani, A. (2004). The architecture of complex weighted networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101, 3747-3752.
- Bar-Yam, Y. (1997). *Dynamics of Complex Systems*. Boulder, CO: Westview Press.
- Barzel, B., & Barabási, A.-L. (2013). Universality in network dynamics. *Nature Physics*, 9, 673-681. doi:10.1038/NPHYS2741
- Battiston, S., & Caldarelli, G. (2013). Systemic Risk in Financial Networks. *Journal of Financial Management, Markets and Institutions*, 1(2), 129-154. doi:10.12831/75568
- Battiston, S., Caldarelli, G., & D'Errico, M. (2016). The Financial System as a Nexus of Interconnected Networks. In A. Garas (Ed.), *Interconnected Networks* (pp. 195-228). Zurich: Springer. doi:10.1007/978-3-319-23947-7
- Bauman, Z. (2007). *Liquid Times. Living in an Age of Uncertainty*. Malden, MA: Polity Press.
- Besson-Silla, V. (Producer), Besson, L. (Writer), & Besson, L. (Director). (2014). *Lucy [Motion Picture]*. France.

- Bethe, H. A. (1935). Statistical theory of superlattices. *Proceedings of the Royal Society A*, 150(871), 552-575. doi:10.1098/rspa.1935.0122
- Beyer, H.-G., & Schwefel, H.-P. (2002). Evolution strategies. A comprehensive introduction. *Natural Computing*, 1, 3–52.
- Bianconi, G., & Barabási, A.-L. (2001). Competition and multiscaling in evolving networks. *Europhysics Letters*, 54(4), 436–442. doi:10.1209/epl/i2001-00260-6
- Bianconi, G., & Rahmede, C. (2015). Complex Quantum Network Manifolds in Dimension  $d > 2$  are Scale-Free. *Scientific Reports*, 5, 13979. doi:DOI: 10.1038/srep13979
- Bianconi, G., Rahmede, C., & Wu, Z. (2015). Complex quantum network geometries: Evolution and phase transitions. *Physical Review E*, 92(2), 022815. doi:10.1103/PhysRevE.92.022815
- BIS. (2019). Triennial Central Bank Survey of Foreign Exchange and Over-the-counter (OTC) Derivatives Markets. Basel: Bank for International Settlements.
- Blanquart, F., & Bataillon, T. (2016). Epistasis and the Structure of Fitness Landscapes: Are Experimental Fitness Landscapes Compatible with Fisher's Geometric Model? *Genetics*, 203(2), 847-862. doi:10.1534/genetics.115.182691
- Bode, M., Fountoulakis, N., & Müller, T. (2015). On the largest component of a hyperbolic model of complex networks. *The Electronic Journal of Combinatorics*, 22(3), 24.
- Boguñá, M., Krioukov, D., & Claffy, K. (2009). Navigability of complex networks. *Nature Physics*, 5(74). doi:10.1038/nphys1130
- Boguñá, M., Papadopoulos, F., & Krioukov, D. (2010). Sustaining the Internet with hyperbolic mapping. *Nature Communications*, 1(62). doi:10.1038/ncomms1063
- Bonabeau, E., Dorigo, M., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm Intelligence. From Natural to Artificial Systems*. New York, NY: Oxford University Press.
- Bordo, M., & James, H. (2014). The European Crisis in the Context of the History of Previous Financial Crises. *Journal of Macroeconomics*, 39, 275-284. doi:10.1016/j.jmacro.2013.08.013
- Borgatti, S. (2006). Identifying sets of key players in a social network. *Computational & Mathematical Organization Theory*, 12(1), 21-34. doi:10.1007/s10588-006-7084-x
- Börner, K., Sanyal, S., & Vespignani, A. (2007). Network Science. *Annual Review of Information Science & Technology*, 41(1), 537-607.
- Bostrom, N. (2014). *Superintelligence: paths, dangers, strategies*. Oxford University Press.
- Braidotti, R. (2013). *The Posthuman*. Cambridge: Polity Press.
- Bramsen, B., & Wain, K. (1979). *the Hambros 1779-1979*. London: Michael Joseph.
- Bredon, G. (1993). *Topology and Geometry*. New York: Springer-Verlag.
- Broeze, F. (1982). The international diffusion of ocean steam navigation. The myth of the retardation of Netherlands steam navigation to the East Indies. *Economisch- en sociaal-historisch jaarboek*, 45, 77-95.
- Brown, K. S., Marean, C. W., Herries, A., Jacobs, Z., Tribolo, C., Braun, D., . . . Bernatchez, J. (2009). Fire As an Engineering Tool of Early Modern Humans. *Science*, 325(5942), 859-862. doi:10.1126/science.1175028
- Brown, K. S., Marean, C. W., Jacobs, Z., Schoville, B. J., Oestmo, S., Fisher, E. C., . . . Matthews, T. (2012). An early and enduring advanced technology originating 71,000 years ago in South Africa. *Nature*, 491(590), 590-593. doi:10.1038/nature11660
- Bruner, R., & Carr, S. (2007). *The Panic of 1907. Lessons Learned from the Market's Perfect Storm*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2011). *Race Against the Machine*. Lexington, MA: Digital Frontier Press.

- Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The Second Machine Age*. New York, NY: W.W. Norton & Co.
- Brynjolfsson, E., & Saunders, A. (2010). *Wired for Innovation*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Buekenhout, F., & Shult, E. (1974). On the foundations of polar geometry. *Geometriae Dedicata*, 3(2), 155-170. doi:10.1007/BF00183207
- Bulliet, R. (2016). *The Wheel: Inventions and Reinventions*. New York: Columbia University Press.
- Byrd, D., Hybinette, M., & Balch, T. (2019). ABIDES: Towards High-Fidelity Market Simulation for AI Research. arXiv:1904.12066.
- Caceres, R., & Berger-Wolf, T. (2013). Temporal Scale of Dynamic Networks. In P. Holme, & J. Saramäki (Eds.), *Temporal Networks*. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-36461-7\_4
- Cady, F. (2017). *The Data Science Handbook*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Caldarelli, G., Battiston, S., Garlaschelli, D., & Catanzaro, M. (2004). Emergence of Complexity in Financial Networks. In E. Ben-Naim, H. Frauenfelder, & Z. Toroczkai (Eds.), *Complex Networks. Lecture Notes in Physics* (pp. 399-423). Berlin Heidelberg: Springer. doi:10.1007/978-3-540-44485-5\_18
- Calomiris, C. (2002). Banking and Financial Intermediation. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 285-313). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Cameron, P. J. (1992). Projective and polar spaces (Vol. MR1153019). London: Queen Mary and Westfield College, School of Mathematical Sciences.
- Cameron, R. (1967). England 1750-1844. In R. Cameron (Ed.), *Banking in the early stages of industrialization* (pp. 15-59). New York: Oxford University Press.
- Campbell, G., Coyle, C., & Turner, J. (2016). This time is different: Causes and consequences of British banking instability over the long run. *Journal of Financial Stability*, 27, 74-94. doi:10.1016/j.jfs.2016.09.007
- Carey, J., & Moss, M. (1985). The diffusion of new telecommunication technologies. *Telecommunications Policy*, 9(2), 145-158. doi:10.1016/0308-5961(85)90038-2
- Carlsson, G. (2009). Topology and data. *Bulletin of the American Mathematical Society*, 46, 255-308. doi:https://doi.org/10.1090/S0273-0979-09-01249-X
- Carosso, V. (1970). *Investment Banking in America: A History*. Cambridge: Harvard University Press.
- Cassis, Y. (2006). *Capital of Capital*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Cencetti, G., & Battiston, F. (2019). Diffusive behavior of multiplex networks. *New Journal of Physics*, 21(3), 035006. doi:10.1088/1367-2630/ab060c
- Cerf, V., & Kahn, R. (1974). A Protocol for Packet Network Intercommunication. *IEEE Transactions on Communications*, 22(5), 637-648. doi:10.1109/TCOM.1974.1092259
- Chabert, J.-L. (1994). *Histoire d'algorithmes. Du caillou a la puce*. Paris: Editions Berlin.
- Chambers, E. W., de Silva, V., Erickson, J., & Ghrist, R. (2010). Vietoris–Rips Complexes of Planar Point Sets. *Discrete & Computational Geometry*, 44(1), 75-90. doi:10.1007/s00454-009-9209-8
- Chandler Jr., A. (1992). Organizational Capabilities and the Economic History of the Industrial Enterprise. *The Journal of Economic Perspectives*, 6(3), 79-100.
- Chapman, S. (1984). *The rise of merchant banking*. London: Unwin Hyman.
- Chartier, J.-F., Pulizzotto, D., Chartrand, L., & Meunier, J. (2019). A Data-Driven Computational Semiotics: The semantic vector space of Magritte's artworks. *Semiotica*, 230(Sep), 19-69. doi:10.1515/sem-2018-0120

- Chengcheng, L., Fengming, L., & Pu, L. (2018). Ising Model of User Behavior Decision in Network Rumor Propagation. *Discrete Dynamics in Nature and Society*. doi:10.1155/2018/5207475
- Chernow, R. (1990). *The House of Morgan*. New York: Grove Press.
- Chomsky, N. (1985). *Turning the Tide*. New York: South End Press.
- Ciavattone, L., Morton, A., & Ramachandran, G. (2003). Standardized Active Measurements on a Tier 1 IP Backbone. *IEEE Communications Magazine*, June, 90-97.
- Cilliers, P. (2000). What Can We Learn From a Theory of Complexity? *Emergence*, 2(1), 23-33. doi:10.1207/S15327000EM0201\_03
- Cioffi-Revilla, C. (2014). *Introduction to Computational Social Science*. New York: Springer.
- Clark, G. L. (2002). London in the European financial services industry: locational advantage and product complementarities. *Journal of Economic Geography*, 2(4), 433–453. doi:10.1093/jeg/2.4.433
- Colom, R., Karama, S., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2010). Human intelligence and brain networks. *Dialogues in clinical neuroscience*, 12(4), 489–501.
- Cowan, G. (1994). Opening Remarks. In G. Cowan, D. Pines, & D. Meltzer (Eds.), *Complexity: Metaphors, Models, and Reality* (pp. 1-4). Boulder, CO: Westview Press.
- Cressman, D. (2009). *Brief Overview of Actor-Network Theory: Punctualization, Heterogeneous Engineering & Translation*. New York: ACT Lab/Centre for Policy Research on Science & Technology.
- Crilly, T. (1999). The Emergence of Topological Dimension Theory. In I. James (Ed.), *History of Topology* (pp. 1-24). Elsevier: San Diego, CA.
- Crona, K. (2014). Polytopes, Graphs and Fitness Landscapes. In H. Richter, & A. Engelbrecht (Eds.), *Recent Advances in the Theory and Application of Fitness Landscapes* (pp. 177-205). Berlin: Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-41888-4\_7
- Crona, K., Greene, D., & Barlow, M. (2013). The peaks and geometry of fitness landscapes. *Journal of Theoretical Biology*, 317, 1-10. doi:10.1016/j.jtbi.2012.09.028
- Csányi, V. (2010). Evolution: Model or Metaphor? In G. Van de Vijver, S. Salthe, & M. Delpos (Eds.), *Evolutionary Systems* (pp. 1-12). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Cutting, D. (2019, July 23). *The Data Journey*.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection*. London: John Murray.
- De Domenico, M., Granell, C., Porter, M. A., & Arenas, A. (2016). The physics of spreading processes in multilayer networks. *Nature Physics*, 12(10), 901-906. doi:10.1038/nphys3865
- De Domenico, M., Solé-Ribalta, A., Cozzo, E., Kivelä, M., Moreno, Y., Porter, M., . . . Arenas, A. (2013). Mathematical Formulation of Multilayer Networks. *Phys. Rev. X*, 3, 041022. doi:10.1103/PhysRevX.3.041022
- De Jong, K. A. (1985). Genetic Algorithms: A 10 Year Perspective. *Proceedings of the 1st International Conference on Genetic Algorithms* (pp. 169-177). Hillsdale, NJ: L. Erlbaum Associates.
- De Jong, K. A. (2006). *Evolutionary Computation*. Cambridge, MA: The Mit Press.
- De Masi, G. (2009). Empirical Analysis of the Architecture of the Interbank Market and Credit Market using Network theory. In A. Naimzada, S. Stefani, & A. Torreiro (Eds.), *Networks, Topology and Dynamics* (pp. 241-256). Milano: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1972). *Anti-oedipus. Capitalism and Schizophrenia* (1983 ed.). (R. Hurley, M. Seem, & H. Lane, Trans.) Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1980). *A Thousand Plateaus. Capitalism and Schizophrenia* (1987 ed.). (B. Massumi, Trans.) Minneapolis: University of Minnesota Press.

- Della Corte, V., Zamparelli, G., & Micera, R. (2013). Innovation in tradition-based firms: dynamic knowledge for international competitiveness. *European Journal of Innovation Management*, 16(4), 405-439. doi:10.1108/EJIM-06-2012-0065
- DeLong, J. B., & Froomkin, A. M. (2000). Speculative microeconomics for tomorrow's economy. In B. Kahin, & H. Varian (Eds.), *Internet publishing and beyond: The economics of digital information and intellectual property* (pp. 6-44). Cambridge, MA: MIT Press.
- Dick, P. (1954). Adjustment Team. *Orbit Science Fiction*, 4, 81-100.
- Dirkzwager, J. (1993). Scheepsbouw. In H. Lintsen (Ed.), *Geschiedenis van de techniek in Nederland: de wording van een moderne samenleving 1800-1890* (pp. 66-102). Zutphen: Walburg Pers.
- Dorogovtsev, S., & Mendes, J. (2003). *Evolution of Networks: From Biological Nets to the internet and WWW*. Oxford: Oxford University Press.
- Dorogovtsev, S., Goltsev, A., & Mendes, J. (2008). Critical phenomena in complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 80(4), 1275-1335. doi:10.1103/RevModPhys.80.1275
- Douglas, A. E. (2010). *The Symbiotic Habit*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Driver, B. (2003). *Analysis Tools with Applications*. San Diego, CA: University of California, San Diego.
- Drucker, P. (1998). The Discipline of Innovation. *Harvard Business Review*, 76(6), 149-157.
- DuBravac, S. (2015). *Digital Destiny: How the New Age of Data Will Transform the Way We Work, Live, and Communicate*. Washington, DC: Regnery Publishing.
- Durkheim, D. É. (1895). *The Rules of Sociological Method* (1982 ed.). London: MacMillan.
- Dutta, C., Pandurangan, G., Rajaraman, R., Sun, Z., & Viola, E. (2013). On the Complexity of Information Spreading in Dynamic Networks. *Proceedings of the Twenty-fourth Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, 717-736.
- Easley, D., & Kleinberg, J. (2010). *Networks, crowds and markets*. New York: Cambridge University Press.
- Edwards, F. R. (1999). Hedge Funds and the Collapse of Long-Term Capital Management. *The Journal of Economic Perspectives*, 189-210.
- Elliott, M., Golub, B., & Jackson, M. (2014). Financial Networks and Contagion. *The American Economic Review*, 104(10), 3115-3153. doi:10.1257/aer.104.10.311
- Ellison, G. (1993). Learning, Local Interaction, and Coordination. *Econometrica*, 61(5), 1047-1071.
- Epstein, J., & Axtell, R. (1996). *Growing Artificial Societies. Social Sciences from the Bottom Up*. Washington, DC: The Brookings Institution.
- Ewertsson, L., & Ingelstam, L. (2005). Large Technical Systems: a Multidisciplinary Research Tradition. In M.-O. Olsson, & G. Sjöstedt (Eds.), *Systems Approaches and Their Application* (pp. 291-309). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Ferguson, N. (1998). *The House of Rothschild. The World's Banker*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Ferguson, N. (2001). *The Cash Nexus*. New York: Basic Books.
- Ferguson, N. (2008). *The Ascent of Money*. New York: Penguin Books.
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 75-174. doi:10.1016/j.physrep.2009.11.002
- Fortunato, S., & Hric, D. (2016). Community detection in networks: A user guide. *Physics Reports*, 659, 1-44. doi:10.1016/j.physrep.2016.09.002
- Foster, C., & Heeks, R. (2016). Drivers of Inclusive Innovation in Developing Country Markets: A Policy Perspective. In N. Agola, & A. Hunter (Eds.), *Inclusive Innovation for Sustainable Development* (pp. 57-74). London: Palgrave Macmillan.

- Freidman, D. (1993). The double auction market institution: A survey. In D. Friedman, & J. Rust (Eds.), *The Double Auction Market: Institutions, Theories and Evidence* (pp. 3-25). Boston: Addison-Wesley.
- Futuyma, D., & Kirkpatrick, M. (2017). *Evolution* (Fourth ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Gai, P., & Kapadia, S. (2010). Contagion in financial networks. *Proceedings: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466(2120), 2401-2423. doi:10.1098/rspa.2009.04
- Gale, D., & Kariv, S. (2007). Financial Networks. *The American Economic Review*, 97(2), 99-103.
- Gao, J., Buldyrev, S. V., Stanley, H. E., & Havlin, S. (2012). Networks formed from interdependent networks. *Nature Physics*, 8(1), 40-48. doi:10.1038/nphys2180
- García, R. (2006). *Sistemas Complejos*. Barcelona: Gedisa Editorial.
- García-Bedoya, O., Granados, O., & Cardozo, J. (2020). AI against Money Laundering Networks: the Colombian Case. *Journal of Money Laundering Control*. doi:10.1108/JMLC-04-2020-0033
- Gärdenfors, P. (2000). *Conceptual Spaces: The Geometry of Thought*. Cambridge: MIT Press.
- Gärdenfors, P. (2014). *The Geometry of Meaning: Semantics Based on Conceptual Spaces*. Cambridge: MIT Press.
- Gardner, M. (1970). Mathematical Games. The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American*, 223(4), 120-123. doi:10.1038/scientificamerican1070-120
- Garlaschelli, D., Battiston, S., Castri, M., Servedio, V., & Caldarelli, G. (2005). The scale-free topology of market investments. *Physica A*, 350, 491-499. doi:10.1016/j.physa.2004.11.040
- Geels, F. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8-9), 1257-1274. doi:10.1016/S0048-7333(02)00062-8
- Geels, F. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems: Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory. *Research Policy*, 33(6-7), 897-920. doi:10.1016/j.respol.2004.01.015
- Geels, F. (2005). *Technological transitions and system innovations: A co-evolutionary and socio-technical analysis*. Cheltenham: Edward Elgar Publishing.
- Geels, F. (2010). Ontologies, socio-technical transitions (to sustainability), and the multi-level perspective. *Research Policy*, 39(4), 495-510. doi:10.1016/j.respol.2010.01.022
- Geels, F., & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3), 399-417. doi:10.1016/j.respol.2007.01.003
- Gell-Mann, M. (1995). *The Quark and the Jaguar*. New York: Henry Holt & Co.
- Gilfillan, S. C. (1935). *Inventing the Ship: a Study of the Inventions Made in Her History between Floating log and Rotorship*. Chicago, IL: Follett publishing company.
- Gilpin, R. (1971). The Politics of Transnational Economic Relations. *International Organization*, 25(3), 398-419.
- Girvan, M., & Newman, M. (2002). Community structure in social and biological networks. *PNAS*, 99(12), 7821-7826. doi:10.1073/pnas.122653799
- Goh, K.-I., Cusick, M., Valle, D., Childs, B., Vidal, M., & Barabási, A.-L. (2007). The human disease network. *PNAS*, 104(21), 8685-8690. doi:10.1073/pnas.0701361104
- Goldsmith, R. W. (1958). *Financial Intermediaries in the American Economy Since 1900*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Golledge, R. (2004). Multidisciplinary Opportunities and Challenges in NBIC. *Annals New York Academy of Sciences*, 1013, 199-311. doi:10.1196/annals.1305.013

- Gómez, N. (2013). *Vida artificial: Ciencia e Ingeniería de sistemas complejos*. Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Gómez, S., Díaz-Guilera, A., Gómez-Gardeñes, J., Pérez-Vicente, C., Moreno, Y., & Arenas, A. (2013). Diffusion Dynamics on Multiplex Networks. *Physical Review Letters*, 110(2), 028701. doi:10.1103/PhysRevLett.110.028701
- Gordon, R. (2002). United States. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 49-73). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Granados, O. (2018). Rethinking Branch Banking Network. In A. Morales, C. Gershenson, D. Braha, A. Minai, & Y. Bar-Yam (Eds.), *Unifying Themes in Complex Systems IX* (pp. 220-227). Cham: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-319-96661-8\_23
- Granovetter, M. (1973). Strength of weak ties. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380.
- Granovetter, M. (1985). Economic Action and Social Structure: The Problem of Embeddedness. *American Journal of Sociology*, 91(3), 481-510.
- Grefenstette, J. J., & Baker, J. E. (1989). How Genetic Algorithms Work: A Critical Look at Implicit Parallelism. In J. D. Schaffer (Ed.), *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms* (pp. 20-27). San Francisco, CA: Morgan Kaufmann Publishers.
- Grötschel, M., Lovász, L., & Schrijver, A. (1993). *Geometric Algorithms and Combinatorial Optimization*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Guattari, F. (1992). *Caosmosis* (1996 ed.). Buenos Aires: Ediciones Manatí.
- Guleva, V. Y., Skvorcoy, M. V., & Boukhanovsky, A. (2015). Using multiplex networks for banking systems dynamics modelling. *Procedia Computer Science*, 66, 257-266. doi:10.1016/j.procs.2015.11.031
- Hägström, M. (2010, September 26). Logarithmic time scale - milliseconds to years. Retrieved from <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=11721833>
- Haldane, A., & May, R. (2011). Systemic risk in banking ecosystems. *Nature*, 469, 351-355. doi:10.1038/nature09659
- Hambros Bank, L. (1939). *Hambros Bank Ltd. 1839-1939*. London: Waterlow & Sons.
- Hamel, G. (2000). *Leading the Revolution*. Boston: Harvard Business School Press.
- Hansen, N. (2016). *The CMA Evolution Strategy: A Tutorial*. arXiv preprint arXiv:1604.00772.
- Harari, Y. (2016). *Homo Deus*. New York: Harper Collins.
- Haraway, D. J. (2016). *Staying with the Trouble: Making Kin in the Chthulucene*. Durham, NC: Duke University Press.
- Hardt, M., & Negri, A. (2000). *Empire*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Harlow, A. (1936). *Old wires and new waves; the history of the telegraph, telephone, and wireless*. New York: D. Appleton-Century Company.
- Harper, D. (1987). *Working Knowledge: Skill and Community in a Small Shop*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Harvey, D. (2014). *Seventeen Contradictions and the End of Capitalism*. Oxford: Oxford University Press.
- Hausdorff, F. (1962). *Set Theory*. New York: Chelsea Publications.
- Hawking, S. (1988). *A Brief History of Time. From The Big Bang to Black Holes*. New York: Bantam Books.
- Heeks, R., Foster, C., & Nugroho, Y. (2014). New models of inclusive innovation for development. *Innovation and Development*, 4(2), 175-185. doi:10.1080/2157930X.2014.928982

- Hernández, I., Niño, R., & Hernández-García, J. (2013). Estética, sistemas complejos adaptativos y ciudad. In I. Hernández, & R. Niño (Eds.), *Estética y sistemas abiertos* (pp. 17-55). Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Hessling, A., & Pahl, H. (2006). The Global System of Finance: Scanning Talcott Parsons and Niklas Luhmann for Theoretical Keystones. *The American Journal of Economics and Sociology*, 65(1), 189-218.
- Hidalgo, C. (2015). *Why information grows*. New York: Basic Books.
- Hoffmann, C. (1970). *The depression of the Nineties. An Economic History*. Westport, CT: Greenwood Publishing.
- Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Ann Arbor, MI: University of Michigan Press.
- Holland, J. H. (2006). Studying Complex Adaptive Systems. *Journal of Systems Science and Complexity*, 19(1), 1-8. doi:10.1007/s11424-006-0001-z
- Holme, P. (2015). Modern temporal network theory: a colloquium. *The European Physical Journal B*, 88(234), 1-30. doi:10.1140/epjb/e2015-60657-4
- Holme, P., & Saramäki, J. (2012). Temporal networks. *Physics Reports*, 519(3), 97-125. doi:10.1016/j.physrep.2012.03.001
- Holme, P., & Saramäki, J. (2013). Temporal Networks as a Modeling Framework. In *Temporal Networks* (pp. 1-14). London: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-36461-7\_1
- Huberman, B., & Hogg, T. (1995). Communities of Practice: Performance and Evolution. *Computational and Mathematical Organization Theory*, 1(1), 73-92.
- Hughes, T. (1987). The Evolution of Large Technological Systems. In W. Bijker, T. Hughes, & T. Pinch (Eds.), *The Social construction of technological systems : new directions in the sociology and history of technology* (pp. 45-76). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Izuzquiza, I. (1990). *La sociedad sin hombres. Niklas Luhmann o la teoría como escandalo* (2008 ed.). Barcelona: Editorial Anthropos.
- James, O., von Tunzelmann, E., Franklin, P., & Thorne, K. (2015). Visualizing Interstellar's Wormhole. *American Journal of Physics*, 83(6), 486-499. doi:10.1119/1.4916949
- Joerges, B. (1996). Large Technical Systems and the Discourse of Complexity. In L. Ingelstam (Ed.), *Complex Technical Systems*, Swedish Council for Planning and Coordination of Research (pp. 55-72). Stockholm: Affärs Litteratur.
- Johnson, N. (2007). *Simply Complexity*. Oxford: One World Publications.
- Jones, G. (1990). *Banks as Multinationals*. London: Routledge.
- Jones, G. (1991). *Multinational and International Banking*. Aldershot: Edward Elgar Publishing.
- Jørgensen, S. E. (2012). *Introduction to Systems Ecology*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Kadushin, C. (2012). *Understanding Social Networks*. Oxford: Oxford University Press.
- Kaku, M. (2008). *Physics of the Impossible*. New York: Doubleday.
- Kanger, L., Geels, F., Sovacool, B., & Schot, J. (2019). Technological diffusion as a process of societal embedding: Lessons from historical automobile transitions for future electric mobility. *Transportation Research*, 71, 47-66. doi:10.1016/j.trd.2018.11.012
- Kanter, R. (2006). Innovation: the Classic Traps. *Harvard Business Review*, 84(11), 73-83.
- Kaplan, A., & Haenlein, M. (2019). Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Business Horizons*, 62(1), 15-25. doi:10.1016/j.bushor.2018.08.004
- Kaplan, J. (2016). *Artificial Intelligence: What everyone needs to know*. Oxford University Press.

- Kardashev, N. S., Novikov, I. D., & Shatskiy, A. A. (2007). Astrophysics of Wormholes. *International Journal of Modern Physics D*, 16(5), 909-926. doi:10.1142/S0218271807010481
- Karsai, M. (2019). *Computational Human Dynamics*. Lyon: École Normale Supérieure de Lyon.
- Kauffman, S. A. (1993). *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*. Oxford: Oxford University Press.
- Kaznatcheev, A. (2019). Computational Complexity as an Ultimate Constraint on Evolution. *Genetics*, 212(1), 245-265. doi:10.1534/genetics.119.302000
- Kelly, K. (1995). *Out of Control*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing.
- Kelly, K. (2010). *What Technology Wants*. New York: Viking Press.
- Keynes, J. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. New York: Harcourt.
- Khanna, P. (2016). *Connectography*. New York: Random House.
- Kindleberger, C., & Aliber, R. (1978). *Manias, Panics and Crashes. A History of Financial Crises* (Fifth ed.). New Jersey: John Wiley & Sons.
- King, R., & Levine, R. (1993a). Finance and growth: Schumpeter might be right. *The Quarterly Journal of Economics*, 717-737. doi:10.2307/2118406
- King, R., & Levine, R. (1993b). Finance, entrepreneurship and growth. *Journal of Monetary Economics*, 32(3), 513-542. doi:10.1016/0304-3932(93)90028-E
- Kivela, M., Arenas, A., Barthelemy, M., Gleeson, J., Moreno, Y., & Porter, M. (2014). Multilayer networks. *Journal of Complex Networks*, 2, 203-271. doi:10.1093/comnet/cnu016
- Kivelä, M., Cambe, J., Saramäki, J., & Karsai, M. (2018). Mapping temporal-network percolation to weighted, static event graphs. *Scientific Reports*, 8(12357). doi:10.1038/s41598-018-29577-2
- Knorr Cetina, K., & Bruegger, U. (2002). Global Microstructures: The Virtual Societies of Financial Markets. *American Journal of Sociology*, 107(4), 905-950. doi:10.1086/341045
- Kobayashi, T., & Takaguchi, T. (2018). Social dynamics of financial networks. *EPJ Data Science*, 7(15), 1-19. doi:https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-018-0143-y
- König, M., & Battiston, S. (2009). From Graph Theory to Models of Economic Networks. In A. Naimzada, S. Stefani, & A. Torriero (Eds.), *Networks, Topology and Dynamics* (pp. 23-63). Milano: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Konopka, T., Markopoulou, F., & Severini, S. (2008). Quantum graphity: A model of emergent locality. *Physical Review D*, 77(10), 104029. doi:10.1103/PhysRevD.77.104029
- Körnert, J. (2003). The Barings crises of 1890 and 1995: causes, courses, consequences and the danger of domino effects. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, 13(3), 187-209. doi:10.1016/S1042-4431(02)00044-6
- Kosko, B. (1993). *Fuzzy Thinking. The New Science of fuzzy logic*. New York: Hyperion.
- Kosko, B. (1999). *The Fuzzy future. From Society and Science to Heaven in a Chip*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan.
- Krings, G., Karsai, M., Bernhardsson, S., Blondel, V., & Saramäki, J. (2012). Effects of time window size and placement on the structure of an aggregated communication network. *EPJ Data Science*, 1(4). doi:doi.org/10.1140/epjds4
- Krioukov, D., Papadopoulos, F., Kitsak, M., Vahdat, A., & Boguñá, M. (2010). Hyperbolic geometry of complex networks. *Physical Review E*, 82(036106). doi:10.1103/PhysRevE.82.036106
- Krugman, P. (2012). *End This Depression Now!* New York: W.W. Norton & Co.
- Kuhn, T. (2000). *The Road since structure*. (J. Conant, & J. Haugeland, Eds.) Chicago, IL: The University of Chicago Press.

- Kurtz, C., & Snowden, D. (2003). The new dynamics of strategy: Sense-making in a complex and complicated world. *IBM Systems Journal*, 42(3), 462-483.
- Kurve, A., Kotobi, K., & Kesidi, G. (2013). An agent-based framework for performance modeling of an optimistic parallel discrete event simulator. *Complex Adaptive Systems Modeling*, 1(12). doi:10.1186/2194-3206-1-12
- Lahoz-Beltrá, R. (2004). *Bioinformática, vida artificial e inteligencia artificial*. Madrid: Díaz de Santos.
- Latour, B. (1994). Pragmatogonies. A Mythical Account of How Humans and Nonhumans Swap Properties. *American Behavioral Scientist*, 37(6), 791-808.
- Latour, B. (2005). *Reassembling the Social. An Introduction to Actor-Network-Theory*. New York: Oxford University Press.
- Latour, B. (2011). Networks, Societies, Spheres: Reflections of an Actor-network Theorist. *International Journal of Communication*, 5, 796-810.
- Laughlin, G., Aguirre, A., & Grundfest, J. (2014). Information Transmission between Financial Markets in Chicago and New York. *Financial Review*, 49(2), 283-312. doi:10.1111/fire.12036
- Laurent, G., Saramäki, J., & Karsai, M. (2015). From calls to communities: a model for time-varying social networks. *The European Physical Journal B*, 88(301). doi:10.1140/epjb/e2015-60481-x
- Lenton, T. M., & Latour, B. (2018). Gaia 2.0. Could humans add some level of self-awareness to Earth's self-regulation? *Science*, 361(6407), 1066-1068. doi:10.1126/science.aau0427
- Levin, S. A. (1998). Ecosystems and the Biosphere as Complex Adaptive Systems. *Ecosystems*, 1(5), 431-436. doi:10.1007/s100219900037
- Lévy, P. (1993). *Les technologies de l'intelligence*. Paris: Seuil.
- Lévy, P. (1994). *L'Intelligence collective. Pour une anthropologie du cyberspace*. Paris: La Découverte.
- Lévy, P. (1995). *Qu'est-ce que le virtuel?* Paris: Éditions de la Découverte.
- Lévy, P. (1997). *Cyberculture. Rapport au Conseil de l'Europe*. Strasbourg: Edts. du Conseil de l'Europe.
- Lewis, T. (2009). *Network Science. Theory and Applications*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Lo, A. (2017). *Adaptive Markets: Financial Evolution at the Speed of Thought*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Lovelock, J. (1979). *GAIA, a new look at Life on Earth*. Oxford: Oxford University Press.
- Lovelock, J. (1990). Hands up for the Gaia hypothesis. *Nature*, 344(6262), 100-102. doi:10.1038/344100a0
- Lovelock, J. (2003a). Gaia: The living Earth. *Nature*, 426(6968), 769-770. doi:10.1038/426769a
- Lovelock, J. (2003b). Gaia and Emergence. *Climatic Change*, 57(1), 1-3. doi:10.1023/A:1022161029633
- Lovelock, J., & Margulis, L. (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the gaia hypothesis. *Tellus*, 26(1-2), 2-10. doi:10.1111/j.2153-3490.1974.tb01946.x
- Luger, G. (2009). *Artificial Intelligence: Structures and Strategies for Complex Problem Solving*. Boston, MA: Pearson.
- Luhmann, N. (1986). The autopoiesis of social systems. En F. Geyer, & J. van der Zouwen (Edits.), *Sociocybernetic paradoxes* (págs. 172–192). London: Sage.
- Luhmann, N. (1997). *La Sociedad de la sociedad* (2007 ed.). (J. Torres, Trad.) México, DF: Editorial Herder.
- Luisi, P. (2006). *The Emergence of Life*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Luxemburg, R. (1913). *The Accumulation of capital* (2003 ed.). New York: Routledge.
- Maldonado, C. (2004). Construyendo la evolución. Una defensa fuerte de la biotecnología. In *Bioética y biotecnología en la perspectiva CTS* (pp. 81-104). Bogotá: Universidad del Bosque.

- Maldonado, C. (2005). Heurística y producción de conocimiento nuevo en la perspectiva CTS. In I. Hernández (Ed.), *Estética, ciencia y tecnología. Creaciones electrónicas y numéricas* (pp. 98-127). Bogotá: Editorial Pontificia Universidad Javeriana.
- Maldonado, C. (2008). Política y sistemas no lineales: la Biopolítica. En B. Vela (Ed.), *Dilemas de la política* (págs. 91-142). Bogotá: Universidad Externado de Colombia.
- Maldonado, C. (2011). *Termodinámica y complejidad*. Bogotá: Ediciones desde abajo.
- Manning, P. (2004). Semiotics and Data Analysis. In M. Hardy, & A. Bryman (Eds.), *Handbook of Data Analysis* (pp. 567-587). Thousand Oaks, CA: SAGE Publications. doi:10.4135/9781848608184
- Manovich, L. (2013). *Software Takes Command*. New York, NY: Bloomsbury Academic.
- Margulis, L. (1998). *Symbiotic Planet: A New Look At Evolution*. New York: Basic Books.
- Margulis, L., & Lovelock, J. (1974). Biological modulation of the Earth's atmosphere. *Icarus*, 21(4), 471-489. doi:10.1016/0019-1035(74)90150-X
- Margulis, L., & Sagan, D. (2000). *What is life?* Berkeley, CA: University of California Press.
- Martin, W., & Kowallik, K. (1999). Annotated English translation of Mereschkowsky's 1905 paper 'Über Natur und Ursprung der Chromatophoren im Pflanzenreiche'. *European Journal of Phycology*, 34(3), 287-295. doi:10.1080/09670269910001736342
- Marx, K. (1867). *Capital: Volume 1: A Critique of Political Economy* (1992 ed.). New York: Penguin Classics.
- Maturana, H. (1981). Autopoiesis. In M. Zeleny (Ed.), *Autopoiesis: A theory of the living organization*. Boulder, CO: Westview Press.
- May, R. (2013). Networks and webs in ecosystems and financial systems. *Phil Trans R Soc A*, 371(1987), 1-8. doi:10.1098/rsta.2012.0376
- May, R., Levin, S., & Sugihara, G. (2008). Ecology for bankers. *Nature*, 451, 893-895. doi:10.1038/451893a
- McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2017). *Machine, Platform, Crowd*. New York: W.W. Norton & Company.
- McCorduck, P. (2004). *Machines Who Think*. Natick, MA: A K Peters, Ltd.
- McDonald, L., & Robinson, P. (2009). *A Colossal Failure of Common Sense*. New York: Ebury Press.
- McKelvey, B. (1999). Complexity theory in organization science: Seizing the promise or becoming a fad? *Emergence*, 1(1), 5-32. doi: DOI: 10.1207/s15327000em0101\_2
- McPherson, M., Smith-Lovin, L., & Cook, J. (2001). Birds of a Feather: Homophily in Social Networks. *Annual Review of Sociology*, 27, 415-444. doi:10.1146/annurev.soc.27.1.415
- Menche, J., Valleriani, A., & Lipowsky, R. (2011). Sequences of phase transitions in Ising models on correlated networks. *Physical Review E*, 83, 061129. doi:10.1103/PhysRevE.83.061129
- Messerlin, P. (2002). France. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 148-177). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Mézard, M., & Parisi, G. (2000). The Bethe lattice spin glass revisited. *The European Physical Journal B*, 20(2), 217. doi:10.1007/PL00011099
- Millán, A., Torres, J., & Bianconi, G. (2018). Complex Network Geometry and Frustrated Synchronization. *Scientific Reports*, 8, 9910. doi:10.1038/s41598-018-28236
- Miller, J. (2016). *A Crude Look at the Whole: the Science of Complex Systems in Business, Life, and Society*. New York: Basic Books.
- Miller, J., & Page, S. (2007). *Complex Adaptive Systems*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Mises, L. V. (1912). *The Theory of Money and Credit* (2013 ed.). (H. Batson, Trans.) New York: Skyhorse Publishing.

- Missler, M., Südhof, T., & Biederer, T. (2012). Synaptic cell adhesion. *ColdSpring Harb Perspectives in Biology*, 4(4), a005694. doi:doi: 10.1101/cshperspect.a005694
- Mitchell, J. C. (1969). The Concept and Use of Social Networks. In J. C. Mitchell (Ed.), *Social Networks in Urban Situations: Analyses of Personal Relationships in Central Africa Towns* (pp. 1-50). London: Manchester University Press.
- Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Mitchell, M. (2019). *Artificial Intelligence: A Guide for Thinking Humans*. New York: Farrar, Straus and Giroux.
- Mokyr, J. (2002). Innovation in Historical Perspective: Tales of Technology and Evolution. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 23-46). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Montagna, M., & Kok, C. (2016). Multi-layered interbank model for assessing systemic risk. *European Central Bank Working Paper Series*(194).
- Morin, F. (2015). *L'Hydre Mondiale*. Montreal: Lux Editeur.
- Morris, M. (1993). Epidemiology and Social Networks: Modeling Structured Diffusion. *Sociological Methods & Research*, 22(1), 99-126. doi:10.1177/0049124193022001005
- Morris, S. (2000). Contagion. *The Review of Economic Studies*, 67, 57-78. doi:10.1111/1467-937X.00121
- Morrison, A., & Wilhelm, W. (2007). *Investment Banking. Institutions, Politics and Law*. Oxford: Oxford University Press.
- Morton, O. (2015). *The Planet Remade: How Geoengineering Could Change the World*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Möser, M., Böhme, R., & Breuker, D. (2013). An inquiry into money laundering tools in the bitcoin ecosystem. *eCrime Research Summit*. San Francisco, CA: IEEE. doi: 10.1109/eCRS.2013.6805780
- Mowery, D., & Simcoe, T. (2002). The Internet. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 229-264). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Mucha, P. J., Richardson, T., Macon, K., Porter, M. A., & Onnela, J.-P. (2010). Community Structure in Time-Dependent, Multiscale, and Multiplex Networks. *Science*, 328(5980), 876-878. doi:10.1126/science.1184819
- Mulder, D., & Bianconi, G. (2018). Network Geometry and Complexity. *Journal of Statistical Physics*, 173(3-4), 783-805. doi:10.1007/s10955-018-2115-9
- Mumford, L. (1961). *The City in History: Its Origins, Its Transformations, and Its Prospects*. San Diego: Harcourt.
- Munkres, J. (2017). *Topology*. London: Pearson.
- Nelson, R., & Winter, S. (1977). In search of useful theory of innovation. *Research Policy*, 6(1), 36-76.
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An Evolutionary Theory of Economic Change*. Cambridge, MA: The Belknap Press.
- Newman, M. (2003). Mixing patterns in networks. *Phys. Rev. E*, 67, 026126. doi:10.1103/PhysRevE.67.026126
- Newman, M. (2004). Fast algorithm for detecting community structure in networks. *Phys. Rev. E*, 69(6), 066133. doi:10.1103/PhysRevE.69.066133
- Newman, M. (2006). Modularity and community structure in networks. *PNAS*, 103(23), 8577–8582. doi:10.1073/pnas.0601602103
- Newman, M., Barabási, A.-L., & Watts, D. (2006). *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton: Princeton University Press.

- Newnham, R. E. (2005). *Properties of Materials: Anisotropy, Symmetry, Structure*. Oxford: Oxford University Press.
- Niazi, M., & Hussain, A. (2013). *Cognitive Agent-based Computing-I. A Unified Framework for Modeling Complex Adaptive Systems using Agent-based & Complex Network-based Methods*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-007-3852-2
- Nickell, S., & Van Reenen, J. (2002). The United Kingdom. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 178-199). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Nicolis, G., & Prigogine, I. (1989). *Exploring Complexity: an Introduction*. New York: Freeman.
- Nicosia, V., Bianconi, G., Latora, V., & Barthelemy, M. (2013). Growing multiplex networks. *Phys Rev Lett*, 111(5), 058701. doi:10.1103/PhysRevLett.111.058701
- O'Meara, S. (2019). Will China Overtake the U.S. in Artificial Intelligence Research? *Nature*, 572, 427-428. doi:10.1038/d41586-019-02360-7
- Open Data DC. (2020). Open Data DC. Retrieved from [https://opendata.dc.gov/datasets/5555b90602a94d9c85d63ee62a860c6e\\_31](https://opendata.dc.gov/datasets/5555b90602a94d9c85d63ee62a860c6e_31)
- Otter, N., Porter, M. A., Tillmann, U., Grindrod, P., & Harrington, H. (2017). A roadmap for the computation of persistent homology. *EPJ Data Science*, 6(17). doi:10.1140/epjds/s13688-017-0109-5
- Pacheco, J., Traulsen, A., & Nowak, M. (2006). Coevolution of Strategy and Structure in Complex Networks with Dynamical Linking. *Physical Review Letters*, 97(25), 258103. doi:10.1103/PhysRevLett.97.258103
- Pagels, H. (1989). *The Dreams of Reason: The Computer and the Rise of the Sciences of Complexity*. New York: Bantam.
- Palla, G., Derényi, I., Farkas, I., & Vicsek, T. (2005). Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society. *Nature*, 814-818.
- Papadimitriou, C., & Steiglitz, K. (1982). *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Paula, E., Ladeira, M., Carvalho, R., & Marzagão, T. (2016). Deep Learning Anomaly Detection as Support Fraud Investigation in Brazilian Exports and Anti-Money Laundering. 15th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications. Anaheim, CA: IEEE.
- Pavitt, K., & Soete, L. (1980). Innovative Activities and Export Shares: some Comparisons between Industries and Countries. In K. Pavitt (Ed.), *Technical Innovation and British Economic Performance* (pp. 38-66). London: Palgrave Macmillan. doi:10.1007/978-1-349-04561-7\_3
- Peierls, R. (1936). On Ising's model of ferromagnetism. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 32(3), 477-481. doi:10.1017/S0305004100019174
- Pérez, J. A. (2015). *Topología de conjuntos, un primer curso* (Vol. 18). Zacatecas, México: Sociedad Matemática Mexicana (Universidad Autónoma de Zacatecas).
- Piketty, T. (2013). *Capital in the Twenty-First Century* (2015 ed.). Cambridge, MA: Belknap Press.
- Pohl, F. (1955). The Tunnel under the World. *Galaxy Magazine*, 9(4).
- Polanyi, K. (1957). *The great transformation*. Boston: GowerBeacon Press.
- Poledna, S., Molina-Borboa, J., Martínez-Jaramillo, S., van der Leij, M., & Thurner, S. (2015). The multi-layer network nature of systemic risk and its implications for the costs of financial crises. *Journal of Financial Stability*, 20, 70-81. doi:10.1016/j.jfs.2015.08.001
- Porter, M. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. New York: Free Press.

- Posen, A. (2002). Japan. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 74-111). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Prat-Camps, J., Navau, C., & Sanchez, A. (2015). A Magnetic Wormhole. *Scientific Reports*, 5, 12488. doi:10.1038/srep12488
- Prieto de Castro, C. (2013). *Topología Básica*. Mexico, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Prigogine, I. (1997). *The End of Certainty*. New York: The Free Press.
- Prigogine, I., & Stengers, I. (1979). *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia* (1983 ed.). Madrid: Alianza Editorial.
- Provine, W. B. (1977). Role of Mathematical Population Geneticists in the Evolutionary Synthesis of the 1930's and 40's". *Mathematical Models in Biological Discovery* (pp. 2-31). Berlin: Springer. doi:10.1007/978-3-642-93057-7\_1
- Provine, W. B. (1986). *Sewall Wright and Evolutionary Biology*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Pulakkazhy, S., & Balan, R. (2013). Data Mining in Banking and its Applications: A Review. *Journal of Computer Science*, 9(10), 1252-1259. doi:10.3844/jcssp.2013.1252.1259
- Quirantes, A. (2015). *Espacio-tiempo cuántico*. Barcelona: RBA.
- Radicchi, F., Castellano, C., Cecconi, F., Loreto, V., & Parisi, D. (2004). Defining and identifying communities in networks. *PNAS*, 101(9), 2658-2663. doi:10.1073/pnas.0400054101
- Raine, D., & Thomas, E. (2010). *Black Holes: An Introduction*. London: Imperial College Press.
- Ribeiro, B., Perra, N., & Baronchelli, A. (2013). Quantifying the effect of temporal resolution on time-varying networks. *Scientific Reports*, 3(3006). doi:10.1038/srep03006
- Robledo, L., Sepulveda, J., & Archer, S. (2012). A conceptual approach to a hybrid network simulation model. *Simulation Series*, 44(14), 54-63.
- Roco, M. (2004). Science and Technology Integration for Increased Human Potential and Societal Outcomes. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1013, 1-16. doi:10.1196/annals.1305.001
- Roco, M. (2006). The Emergence and Policy Implications of Converging New Technologies. In W. Bainbridge, & M. Roco (Eds.), *Managing Nano-Bio-Info-Cogno Innovations. Converging Technologies in Society* (pp. 9-22). Dordrecht: Springer.
- Rogers, E. (2003). *Diffusion of Innovations* (Fifth ed.). New York: Free Press.
- Romer, P. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71-102.
- Rosnay, J. d. (1995). *The symbiotic man* (2000 ed.). (P. Aronoff, R. Charest, H. Scott, & W. Romer Taylor, Trans.) New York: McGraw Hill.
- Rosvall, M., Esquivel, A., Lancichinetti, A., West, J., & Lambiotte, R. (2014). Memory in network flows and its effects on spreading dynamics and community detection. *Nature Communications*, 5, 4630. doi:10.1038/ncomms5630
- Roukny, T., Battiston, S., & Stiglitz, J. (2017). Interconnectedness as a source of uncertainty in systemic risk. *Journal of Financial Stability*, 93-106. doi:10.1016/j.jfs.2016.12.003
- Russell, S., & Norvig, P. (1995). *Artificial Intelligence. A Modern Approach* (Third (2010) ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Ryan, B., & Gross, N. (1943). The diffusion of hybrid seed corn in two Iowa communities. *Rural Sociology*, 8, 15-24.
- Sabín, C. (2017). Quantum detection of wormholes. *Scientific reports*, 7(1), 716. doi:10.1038/s41598-017-00882-6

- SAE. (2018). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles*. Warrendale, PA: SAE International. doi:10.4271/J3016\_201806
- Samet, H. (1988). An overview of quadtrees, octrees, and related hierarchical data structures. In R. Earnshaw (Ed.), *Theoretical Foundations of Computer Graphics and CAD* (pp. 51-68). Berlin: Springer-Verlag.
- Samhaber, E. (1960). *Merchants make history* (1963 ed.). (E. Osers, Trans.) London: George Harrap & Co.
- Sassen, S. (1998). *Globalization and its discontents*. New York: The New Press.
- Sassen, S. (2006). *Territory, Authority, Rights: From Medieval to Global Assemblages*. Princeton: Princeton University Press.
- Sathi, A. (2012). *Big Data Analytics: Disruptive Technologies for Changing the Game*. Boise, ID: MC Press Online / IBM .
- Saxenian, A. (1994). *Regional Advantage: Culture and Competition in Silicon Valley and Route 128*. Cambridge: Harvard University Press.
- Sayama, H., Pestov, I., Schmidt, J., Bush, B., Wong, C., Yamanoi, J., & Gross, T. (2013). Modeling complex systems with adaptive networks. *Computers & Mathematics with Applications*, 65(10), 1645-1664. doi:10.1016/j.camwa.2012.12.005
- Schelling, T. (1978). *Micromotives and Macrobehavior*. New York: WW Norton & Company.
- Schmidt, C. (2006). *Evolutionary Computation in Stochastic Environments*. Karlsruhe: Universität Fridericiana zu Karlsruhe.
- Schot, J., & De la Bruheze, A. (2003). The Mediated Design of Products, Consumption, and Consumers in the Twentieth Century. In N. Oudshoorn, & T. Pinch (Eds.), *How Users Matter: The Co-Construction of Users and Technologies* (pp. 229-245). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Schumpeter, J. (1942). *Capitalism, socialism, and Democracy*. New York: Harper & Brothers Publishers.
- Schweitzer, F., Fagiolo, G., Sornette, D., Vega-Redondo, F., Vespignani, A., & White, D. (2009). Economic Networks: The New Challenges. *Science*, 325(5939), 422-425. doi:10.1126/science.1173644
- Scott, J. (2012). *Social Network Analysis*. New York: Sage Publications.
- Shah, H. (2020). Global problems need Social Science. *Nature*, 577(16 January), 295. doi:10.1038/d41586-020-00064-x
- Sharda, R., Delen, D., & Turbam, E. (2008). *Business Intelligence, Analytics, and Data Science*. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Shen, H.-W. (2013). *Community Structure of Complex Networks*. Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-642-31821-4
- Siebert, H., & Stolpe, M. (2002). Germany. In B. Steil, D. Victor, & R. Nelson (Eds.), *Technological Innovation & Economic Performance* (pp. 112-147). Princeton, NJ: Council of Foreign Relations / Princeton University Press.
- Simon, H. (1996). *The Sciences of the Artificial*. Cambridge, MA: MIT Press.
- SJR. (2020). Scimago Journal & Country Rank. Retrieved from <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?area=1700>
- Smith, A. (1776). *The Wealth of Nations* (1991 ed.). London: Alfred A. Knopf.
- Smocovitis, V. B. (1992). Unifying biology: The evolutionary synthesis and evolutionary biology. *Journal of the History of Biology*, 25(1), 1-65. doi:10.1007/BF01947504947504
- Solé-Ribalta, A., Gómez, S., & Arenas, A. (2016). Congestion Induced by the Structure of Multiplex Networks. *Physical Review Letters*, 116(10), 108701. doi:10.1103/PhysRevLett.116.108701
- Solomonoff, R. (1985). The Time Scale of Artificial Intelligence; Reflections on Social Effects. *Human Systems Management*, 5, 149-153.

- Solow, R. (1956). A Contribution to the Theory of Economic Growth. *Quarterly Journal of Economics*, 70, 65-94.
- Solow, R. (1957). Technical Change and the Aggregate Production Function. *Review of Economics and Statistics*, 39, 312-320.
- Sorkin, A. (2009). *Too Big to Fail*. New York: Penguin Books.
- Spar, D. (2001). *Pirates, Prophets and Pioneers: Business and Politics Along the Technological Frontier*. New York: Random House.
- Spar, D. (2003). *Ruling the Waves: From the Compass to the Internet, a History of Business and Politics along the Technological Frontier*. New York: Harvest Books.
- Spencer, H. (1898). *The Principles of Sociology*. New York: D. Appleton and Company.
- Spohrer, J., & Engelbart, D. (2004). Converging Technologies for Enhancing Human Performance. *Annals New York Academy of Sciences*, 1013, 50-82. doi:10.119/annals.1305.005
- Sporns, O. (2010). *Networks of the Brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- State of New York. (2019). Data.gov. Retrieved from <https://data.ny.gov/api/views/ndex-ad5r>
- Stehman, J. (1925). *The Financial History of the American Telephone and Telegraph Company*. Boston: Houghton Mifflin.
- Stiglitz, J. (2009). *Freefall*. London: Penguin Books.
- Strang, D., & Soule, S. (1998). Diffusion in Organizations and Social Movements: From Hybrid Corn to Poison Pills. *Annual Review of Sociology*, 24(1), 265-290. doi:10.1146/annurev.soc.24.1.265
- Strouse, J. (1999). *Morgan. American Financier*. New York: Random House.
- Talbi, E.-G. (2009). *Metaheuristics. From Design to Implementation*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Taleb, N. (2007). *The Black Swan*. New York: Random House.
- Taleb, N. (2013). *Antifragile*. New York: Random House.
- Tarvid, A. (2016). *Agent-Based Modelling of Social Networks in Labour-Education Market System*. Cham: Springer.
- Tegmark, M. (2017). *Life 3.0: Being human in the age of artificial intelligence*. Knopf.
- Terranova, T. (2004). *Network Culture: Politics for the Information Age*. London: Pluto Press.
- Thompson, R. (1947). *Wiring a continent : the history of the telegraph industry in the United States, 1832-1866*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Thorne, K. S. (1994). *Black Holes and Time Warps*. New York: W. W. Norton.
- Thrift, N. (2000). Performing Cultures in the New Economy. *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), 674-692. doi:10.1111/0004-5608.00217
- Tomassini, M. (1995). A Survey of Genetic Algorithms. In *Annual Reviews of Computational Physics III* (pp. 87-118). World Scientific. doi:doi:10.1142/9789812830647\_0003
- Tonzer, L. (2015). Cross-border interbank networks, banking risk and contagion. *Journal of Financial Stability*, 18, 19-32. doi:10.1016/j.jfs.2015.02.002
- Trujillo, R. (2013). Ciencias de la complejidad y las nano-bio-info-cogno ciencias. In C. Maldonado (Ed.), *Derivas de la complejidad. Ciencias sociales y tecnologías convergentes* (pp. 7-36). Bogotá: Editorial Universidad del Rosario.
- Tzeng, C.-H. (2009). A review of contemporary innovation literature: A Schumpeterian perspective. *Innovation*, 11(3), 373-394. doi:10.5172/impp.11.3.373
- Van Segbroeck, S., Santos, F., Lenaerts, T., & Pacheco, J. (2011). Selection pressure transforms the nature of social dilemmas in adaptive networks. *New Journal of Physics*, 013007. doi:10.1088/1367-2630/13/1/013007

- Varela, F., Maturana, H., & Uribe, R. (1974). Autopoiesis: The organization of living systems, its characterization and a model. *Biosystems*, 5(4), 187–196.
- Vazquez, A. (2006). Spreading dynamics on heterogeneous populations: Multitype network approach. *Phys. Rev. E*, 74, 066114. doi:10.1103/PhysRevE.74.066114
- Vedlkamp, F. (1959). Polar Geometry II. *Indagationes Mathematicae (Proceedings)*, 62, 519-526.
- Vega-Redondo, F. (2007). *Complex Social Networks*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Verizon. (December de 2020). IP Latency Statistics . Obtenido de <https://enterprise.verizon.com/terms/latency/>
- Volkenstein, M. (2009). *Entropy and Information*. (A. Shenitzer, & R. Burns, Trans.) Berlin: Birkhäuser Verlag AG.
- Von Looz, M., Meyerhenke, H., Prutkin, R., & Staudt, C. (2015). Fast generation of complex networks with underlying hyperbolic geometry.
- Wallerstein, I. (1991). *Unthinking Social Science. The limits of nineteenth-century paradigms*. Philadelphia: Temple University Press.
- Wasserman, L. (2018). Topological Data Analysis. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 5(1), 501-532. doi:10.1146/annurev-statistics-031017-100045
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social Network Analysis: Methods and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Watts, D. (2003). *Six Degrees. The Science of a Connected Age* . New York: Norton & Company.
- Watts, D. J., & Dodds, P. (2007). Networks, influence, and public opinion formation. *Journal of Consumer Research*, 34(4), 441–458. doi:10.1086/518527
- Watts, D., & Strogatz, S. (1998). Collective Dynamics of small-world networks. *Nature*, 393, 440-442.
- Wechsberg, J. (1966). *The Merchant Bankers*. London: Weidenfeld & Nicholson.
- Weibing, P. (2011). Research on Money Laundering Crime under Electronic Payment Background. *Journal of Computers*, 6(1), 147-154. doi:10.4304/jcp.6.1.147-154
- Weisstein, E. W. (2002). Poincaré Conjecture. Retrieved September 2019, from MathWorld. A Wolfram Web Resource: <http://mathworld.wolfram.com/PoincareConjecture.html>
- Werner, F. (2013). A Survey of Genetic Algorithms for Shop Scheduling Problems. In P. Siarry (Ed.), *Heuristics. Theory and Applications* (pp. 161-222). New York: Nova Science Publishers.
- White, E. (2000). Banking and Finance in the Twentieth Century. In S. Engerman, & R. Gallman (Eds.), *The Cambridge Economic History of the United States* (pp. 743-802). New York: Cambridge University Press.
- Wick, D., Abraham, M. (Producers), Beckner, M. F. (Writer), & Scott, T. (Director). (2001). *Spy Game* [Motion Picture].
- Wilf, H. (1994). *Algorithms and Complexity*. Philadelphia: UPenn.
- Willard, S. (1970). *General topology*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Williams, C. (1901). *Polk's World Bank Directory*. Chicago: The Bankers Encyclopedia Company.
- Winston, B. (1998). *Media technology and society: A history from the telegraph to the Internet*. New York: Routledge.
- Wolfe, A. (1963). The African Mineral Industry: Evolution of a Supranational Level of Integration. *Social Problems*, 11(2), 153-164.
- World Bank. (2019). Data Hub. Retrieved from Automated teller machines (ATMs): <https://datahub.io/world-bank/fb.atm.totl.p5#data>
- Wright, S. (1932). The roles of mutation, inbreeding, crossbreeding and selection in evolution. *Proceedings of the Sixth International Congress of Genetics*, (pp. 356–366).

- Wu, Z., Menichetti, G., Rahmede, C., & Bianconi, G. (2015). Emergent Complex Network Geometry. *Scientific Reports*, 5, 10073. doi:10.1038/srep10073
- Xu, E., & Hui, P. (2019). Uncovering complex overlapping pattern of communities in large-scale social networks. *Applied Network Science*, 4(1), 27. doi:10.1007/s41109-019-0138-z
- Yang, S. (2007). Explicit Memory Schemes for Evolutionary Algorithms in Dynamic Environments. In S. Yang, Y. Ong, & Y. Jin (Eds.), *Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments* (pp. 3-28). Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-540-49774-5
- Yedidia, J., Freeman, W., & Weiss, Y. (2001). Generalized belief propagation. In T. Leen, T. Dietterich, & V. Tresp (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (pp. 689-695). Cambridge, MA: The MIT Press.
- Yong, E. (2017). *I Contain Multitudes*. New York: Ecco.
- Zachary, W. (1977). An Information Flow Model for Conflict and Fission in Small Groups. *Journal of Anthropological Research*, 33(4), 452-473.
- Zaloom, C. (2003). Ambiguous Numbers: Trading Technologies and Interpretation in Financial Markets. *American Ethnologist*, 30(2), 258-272. doi:10.2307/3805376
- Zhao, K., Karsai, M., & Bianconi, G. (2011). Entropy of Dynamical Social Networks. *Plos One*, 6(12), e28116. doi:10.1371/journal.pone.0028116
- Ziegler, P. (1988). *The Sixth Great Power*. London: Collins.
- Zook, M., & Grote, M. H. (2017). The Microgeographies of Global Finance: High Frequency Trading and the Construction of Information Inequality. *Environment and Planning A*, 49(1), 21-140. doi:10.1177/0308518X16667298
- Zschaler, G., Traulsen, A., & Gross, T. (2010). A homoclinic route to asymptotic full cooperation in adaptive networks and its failure. *New Journal of Physics*, 12, 093015. doi:10.1088/1367-2630/12/9/093015
- Zuev, K., Boguñá, M., Bianconi, G., & Krioukov, D. (2015). Emergence of Soft Communities from Geometric Preferential Attachment. *Scientific Reports*, 5, 9421. doi:10.1038/srep09421