

ISSN 2448-5705

INTERdisciplina

REVISTA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES
INTERDISCIPLINARIAS EN CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ECONOMÍA
SOCIOLOGÍA

Volumen 5 | Número 12 | mayo-agosto 2017

INTERdisciplina

ISSN 2448-5705

REVISTA DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES
INTERDISCIPLINARIAS EN CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ECONOMÍA

DIRECTORIO

INTERdisciplina

Revista del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias
en Ciencias y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de México
www.interdisciplina.unam.mx

Ricardo Lino Mansilla Corona
Editor

Jorge Zaragoza Badillo
Editor invitado

Alma Laura Moncada Marín
Asistente del editor

María del Consuelo Yerena Capistrán
Coordinación editorial

Concepción Alida Casale Núñez
Cuidado editorial

Isauro Uribe Pineda
Formación / Gestión y operación de OJS

CONSEJO EDITORIAL

Germinal Cocho Gil / Universidad Nacional Autónoma de México, México

Pedro Luis Sotolongo Codina / Academia de Ciencias de Cuba, Cuba

Roger Strand / Universitetet i Bergen, Noruega

Nancy Scheper-Hughes / University of California Berkeley, EUA

Julie Thompson Klein / Wayne State University, EUA

Eloy Ayón-Beato / CINVESTAV-IPN, México

Héctor Zenil / Universidad de Oxford, UK

Ana María Corbacho Rodríguez / Universidad de la República, Uruguay

Bartolomé Luque Serrano / Universidad Politécnica de Madrid, España

José Nieto Villar / Universidad de La Habana, Cuba

Diego Frías / Universidad Estatal de Bahía, Brasil
Hugo Melgar-Quiñonez / McGill University, Canadá

COMITÉ CIENTÍFICO

Darío Salinas Figueiredo / Universidad Iberoamericana, México

Diego Frías / Universidad Estatal de Bahía, Brasil

Eloy Ayón-Beato / CINVESTAV-IPN, México

Pedro Eduardo Alvarado Rubio / Hospital Adolfo López Mateos del ISSSTE, México

Silvia Dutrénit Bielous / Instituto José María Luis Mora, México

Laura Páez Díaz de León / Universidad Nacional Autónoma de México, México

Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades

Guadalupe Valencia García
Directora

Ricardo Lino Mansilla Corona
Secretario Académico

Carlos Hernández Alcántara
Secretario Técnico

María Isabel García Rosas
Secretaria Administrativa

María del Consuelo Yerena Capistrán
Jefa del Departamento de Publicaciones

Universidad Nacional Autónoma de México

Enrique Graue Wiechers
Rector

Leonardo Lomelí Vanegas
Secretario General

Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo

Mónica González Contró
Abogada General

Alberto Vital Díaz
Coordinador de Humanidades

INTERdisciplina, vol. 5, núm. 12, mayo-agosto 2017, es una publicación cuatrimestral electrónica, editada por la Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, Ciudad de México, a través del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, Torre II de Humanidades 4º piso, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, Ciudad de México, <<http://www.interdisciplina.unam.mx>>, (rev.interd@unam.mx). Editor responsable: Ricardo Lino Mansilla Corona. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No.04-2013-012910094600-102, otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, ISSN 2448-5705. Responsable de la última actualización de este número: Isauro Uribe Pineda, Torre II de Humanidades 4º piso, Circuito Escolar, Ciudad Universitaria, Coyoacán 04510, Ciudad de México. Fecha de la última actualización: 29 de septiembre de 2017. Servicios que indexan a INTERdisciplina: Clase y Latindex.



Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0
Internacional

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura de los editores. Prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin la previa autorización por escrito de los editores responsables.

INTERdisciplina

Contenido / Contents

| | |
|----------------------|---|
| ■ Presentación | 5 |
| Presentation | 6 |
| ■ Editorial | 7 |
| Editorial | 8 |

Dossier / Dossier

| | |
|---|----|
| ■ El uso de redes complejas en economía: alcances y perspectivas | 9 |
| <i>The use of complex networks in economics: Scope and perspectives</i> | |
| Edgar Acatitla Romero y Joaquín Urbina Alonso | |
| ■ El uso de <i>Twitter</i> en el análisis financiero: aproximación desde la econofísica | 23 |
| <i>The use of Twitter in financial analysis: An approach from the econophysics</i> | |
| Andrés García Medina | |
| ■ Los orígenes interdisciplinarios de las finanzas | 41 |
| <i>The interdisciplinary origins of finance</i> | |
| Ricardo Mansilla Corona | |
| ■ La dinámica de la PEA en la ZMCM: aplicación de un modelo dinámico no lineal | 57 |
| <i>The dynamics of the EAP in the MZMC: Application of a dynamic nonlinear model</i> | |
| Jorge Zaragoza Badillo y Ricardo Mansilla Corona | |

Entrevista / Interview

| | |
|--|----|
| ■ Profesor Rosario Nunzio Mantegna | 95 |
| Ricardo Mansilla Corona | |

Comunicaciones independientes / Independent communications

- El lenguaje visual antiguo mesoamericano y el pensamiento interdisciplinario 101
The Mesoamerican ancient visual language and the interdisciplinary thinking
Octavio Quesada García

Reseña / Book review

- *Adaptative markets. Financial evolution at the speed of thought* 123
Ricardo Mansilla Corona

Colaboran en este número / Contributors 125

Presentación

ENTRE LOS EMPEÑOS confesados por el editor de esta publicación en su número anterior estaba ampliar el espectro de los problemas interdisciplinarios tratados en esta revista.

Una de las zonas más impactantes en el bienestar de nuestras sociedades es el área de los fenómenos económicos. Las finanzas y la economía en general se han convertido en un tema tan común como el estado del tiempo. Cada día, en diferentes horarios, los noticiarios y periódicos de todo el mundo analizan con el mismo interés que el clima el estado de las bolsas de valores en el mundo, sus fluctuaciones y posibles amenazas. Las caídas de los mercados son cubiertas desde el punto de vista informativo con la misma minuciosidad que las consecuencias de un devastador tifón asiático. Las exageradas subidas de ciertos activos financieros (conocidas como burbujas) son observadas con igual atención que tormentas en cierres, poderosos frentes fríos por llegar o las amenazas de huracanes tropicales.

El número que hoy presentamos se titula *Econofísica*. Sus páginas recogen un grupo de contribuciones cuyo hilo conductor es la investigación de la complejidad de los fenómenos económicos a través de métodos interdisciplinarios, cuyas herramientas provienen de los campos de la física, los sistemas dinámicos y las ciencias de la computación.

Con el ánimo de expandir la cobertura de temas, incluimos una nueva sección llamada “Comunicaciones independientes” donde aparecerán artículos cuya temática es ajena a aquellos trabajos presentados en el Dossier. Se invita a los interesados a someter de manera independiente sus contribuciones. **Id**

Presentation

AMONG THE EFFORTS confessed by the Editor of this publication in its previous issue was to broaden the spectrum of interdisciplinary problems addressed in this journal.

One of the most striking areas in the welfare of our societies is the area of economic phenomena. Finance and economics in general have become as commonplace as the weather. Every day, at different times, the news and newspapers around the world analyze the state of stock markets in the world, their fluctuations and possible threats with the same interest as climate. The market crashes are covered from the information point of view with the same thoroughness as the consequences of a devastating Asian typhoon. Exaggerated rises in certain financial assets (known as bubbles) are observed with equal attention to budding storms, mighty cold fronts to come, or threats from tropical hurricanes.

The number that we present today is titled *Econophysics*. Its pages contain a group of contributions whose main thread is the investigation of the complexity of economic phenomena through interdisciplinary methods, whose tools come from the fields of physics, dynamical systems theory and computer science.

In order to expand the coverage of the journal, we include a new section called “Independent communications” where articles will appear whose subject matter is foreign to those works presented in the Dossier. Those interested are invited to submit their contributions independently. ■

Editorial

¿Ha contribuido la física estadística a la economía y las finanzas?
El trabajo que hice alrededor de 1960 contesta esta pregunta con un Sí.
B. Mandelbrot

TRAS LA CAÍDA del Muro de Berlín, la disolución del llamado “socialismo real” y el receso en las acciones de la Guerra Fría, comenzó un periodo que aún no culmina donde la demanda de físicos tanto en la industria como en la academia ha decaído visiblemente,^{1, 2, 3} toda vez que los proyectos de investigación de orientación militar se vieron coartados por los previsibles recortes de fondos de un escenario que al decir de F. Fukuyama era “el fin de la Historia”.

Esto ha llevado a generaciones de físicos a las instituciones financieras y económicas del planeta, las cuales los contratan con avidez debido a su sólida formación matemática y habilidad en el uso de las computadoras, deviniendo en *quants* (analistas cuantitativos) de las mismas. El éxito obtenido en esta tarea ha llevado a algunos de ellos a fundar sus propias firmas, ofreciendo servicios en el área de las finanzas.⁴

El área de investigación interdisciplinaria, en la frontera entre la economía y la física, que ha sido bautizada como econofísica⁵ ha sentado las pautas para, desde una visión originada en las ciencias naturales, entender la complejidad de los fenómenos económicos de una forma más precisa que la ofrecida por la teoría neoclásica, corriente principal del pensamiento económico actual.

Este número recoge algunas valiosas contribuciones a esta área del conocimiento. Desde una muy completa revisión del uso de las redes complejas en la economía hasta un análisis histórico de los orígenes interdisciplinarios de las finanzas, en las páginas que siguen el lector encontrará un equilibrado panorama de esta área de investigación interdisciplinaria. □

1 Kaiser, D. «Cold War requisition, scientific manpower and the production of American physicists after World War II.» *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 33, 2002, 131-159.

2 Kleves, D. *The physicists: The history of a scientific community in modern America*, cap. 25. Harvard University Press, 1995.

3 Leslie, S. *The Cold War and the American Science. The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*, cap. 9. Columbia University Press, 1993.

4 <https://www.cfm.fr/>

5 El término econofísica fue propuesto por Eugene Stanley, un físico de la Universidad de Boston, en una conferencia sobre física estadística que tuvo lugar en Calcuta en 1995.

Editorial

*Has statistical physics contributed to economics and finance?
The work I did around 1960 answers this question with a YES.*

B. Mandelbrot

AFTER THE FALL of the Berlin Wall, the dissolution of so-called “real socialism” and the recess in the Cold War, began a period that has not yet culminated where the demand for physicists in both industry and academia has declined visibly,^{1, 2, 3} as the military-oriented research projects were hampered by the foreseeable funding cuts of a scenario that, according to F. Fukuyama was “the end of History.”

This has led generations of physicists to the financial and economic institutions of the planet, which greedily hire them because of their strong mathematical training and computer skills, becoming *quants* (quantitative analysts) of them. The success obtained in this task has led some of them to found their own firm,⁴ offering services in the area of finance.

The area of interdisciplinary research, on the frontier between economics and physics, which has been baptized as econophysics,⁵ has set the guidelines for understanding the complexity of economic phenomena from a natural science perspective in a more precise way than the one offered by neoclassical theory, which is the mainstream of current economic thinking.

This issue contains some valuable contributions to this area of knowledge. From a very thorough review of the use of complex networks in economics to a historical analysis of the interdisciplinary origins of finance, in the pages that follow the reader will find a balanced panorama of this area of interdisciplinary research. ■

1 Kaiser, D. «Cold War requisition, scientific manpower and the production of American physicists after World War II.» *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 33, 2002, 131-159.

2 Kleves, D. *The physicists: The history of a scientific community in modern America*, cap. 25. Harvard University Press, 1995.

3 Leslie, S. *The Cold War and the American Science. The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*, cap. 9. Columbia University Press, 1993.

4 <https://www.cfm.fr/>

5 The term econophysics was proposed by Eugene Stanley, a physicist at Boston University, in a conference on statistical physics held in Calcutta in 1995.

Edgar Acatitla Romero* y Joaquín Urbina Alonso**

El uso de redes complejas en economía: alcances y perspectivas

Resumen | La econometría es la metodología estándar en la economía. Sin embargo, existen fenómenos tales como el desarrollo económico, el cambio tecnológico y su impacto en el crecimiento económico, la estructura industrial, el comportamiento de los mercados, por mencionar algunos, donde, debido a la abundancia de agentes heterogéneos así como a las interacciones dinámicas entre estos, la econometría encuentra sus límites epistemológicos y metodológicos. Por otra parte, existe la creencia generalizada de que la econometría es una metodología para probar teorías en economía en el sentido de Popper. Sin embargo, suele desconocerse entre los economistas la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca de las críticas al método de falsación de Popper, desconociéndose de paso las limitaciones epistémicas de la econometría. Partiendo de este contexto, en el presente artículo se argumenta a favor de la idea de que, ante estas limitaciones de la econometría, la teoría de redes puede ser una alternativa para complementar el análisis y comprensión de fenómenos de la economía.

9

The use of complex networks in economics: Scope and perspectives

Abstract | Econometrics is the standard methodology in economics. However, there are phenomena such as economic development, technological change and its impact on economic growth, industrial structure, market behavior, among others, due to the abundance of heterogeneous agents as well as dynamic interactions, the econometrics finds its epistemological and methodological limits. On the other hand, there is a widespread belief that econometrics is a methodology for proving economics theories in the Popper sense. However, it is often unknown among economists that Popper criticizes Popper's method of falsification, and the epistemic limitations of econometrics are unknown. In this context, the present article argues in favor of the idea that, given these limitations of econo-

Recibido: 23 de mayo de 2017. Aceptado: 21 de junio de 2017.

* Doctor en estudios sociales, línea de estudios en economía social, UAM-I. Profesor titular en la Facultad de Contaduría y Administración, UNAM y miembro del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía, CEIICH-UNAM.

** Maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos, UACM. Profesor en el Instituto de Enseñanza Medio-Superior de la Ciudad de México y miembro del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía, CEIICH-UNAM.

Correos-e: eacatitla@yahoo.com | complejidadyeconomia@gmail.com

metrics, the theory of networks can be an alternative to complement the analysis and understanding of economic phenomena.

Palabras clave | econometría, redes complejas, epistemología, metodología, falsación

Key Words | econometrics, complex networks, epistemology, methodology, falsification

Introducción

El propósito del presente artículo es mostrar algunas ventajas que tiene el uso de la teoría de redes en el estudio de fenómenos de la economía que se caracterizan por las interacciones dinámicas entre sus componentes, tales como el desarrollo económico, la innovación tecnológica y el comportamiento de los mercados. Ante el comportamiento de estos fenómenos, la econometría encuentra sus límites epistemológicos y metodológicos. En primer lugar, existe la creencia generalizada de que la econometría es una metodología para probar teorías en economía en el sentido de Popper. Sin embargo, suele desconocerse la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca de las críticas al método de falsación de Popper, desconociéndose también las limitaciones epistémicas de la econometría. En segundo lugar, no se ha reflexionado mucho acerca de sus limitaciones metodológicas. Partiendo de este contexto, argumentamos a favor de la idea de que, ante las limitaciones epistemológicas y metodológicas de la econometría, la teoría de redes puede ser una alternativa para complementar el análisis y comprensión de fenómenos de la economía con características como los mencionados. Cabe señalar, que los estudios económicos basados en redes son cada vez más y se ha logrado caracterizar el tipo de redes presentes en la economía: *mundo pequeño, centro-periferia y libres de escala*.

Así, el presente artículo incluye, aparte de la presente introducción, dos apartados: en el primero, se exponen algunas limitaciones epistemológicas y metodológicas de la econometría; y, en el segundo, se caracteriza la metodología de redes y se presentan algunas aplicaciones a la economía para mostrar su potencial en el estudio de fenómenos económicos; por último, se plantean algunas conclusiones.

La metodología estándar en economía: alcances y limitaciones

En general se reconoce, entre los miembros de las comunidades científicas y en filosofía de la ciencia, que la distinción central entre el conocimiento científico y cualquier otra forma de conocimiento (por ejemplo, el que procede de la religión o el arte) es el uso del *método científico*. No obstante, en cada una de las fases por

las que atraviesa la investigación en una disciplina, desde la construcción de una teoría hasta los intentos por contrastarla con la evidencia empírica, así como los caminos de ida y vuelta entre ambas, implica el uso de distintos métodos. Particularmente, en cada disciplina se proponen y elaboran distintos métodos específicos para llevar a cabo este propósito (Bunge 2004).

Ahora bien, hoy en día en economía, es un reconocimiento común considerar a la econometría como la metodología adecuada para someter a prueba las distintas teorías económicas. Así, en algunos textos de econometría, esta se define como: "...una amalgama de teoría económica, economía matemática, estadística económica y estadística matemática" (Gujarati y Porter 2009, 2) o como "...el desarrollo de métodos estadísticos que se utilizan para estimar relaciones económicas, probar teorías económicas y evaluar e implementar políticas públicas y de negocios" (Wooldridge 2010, 1). Ambas definiciones son, de alguna forma, complementarias. La primera hace referencia a las distintas áreas que componen la econometría y, simultáneamente, la define como una disciplina independiente de dichas áreas; la segunda hace referencia al objeto de estudio de la econometría, el cual no se reduce solo a probar teorías económicas sino también a la evaluación e implementación de políticas, tanto públicas como privadas.

Ahora bien, sin omitir la importancia reconocida de la econometría, se requiere acotar sus alcances y límites tanto epístémicos como prácticos, no solo por las críticas que ha recibido en distintos momentos sino también por el uso consciente de estos métodos. En primer lugar ¿qué se entiende por "probar teorías"? Este término se acuñó en el siglo xx en el área de filosofía de la ciencia y bajo el contexto de las discusiones entre los empiristas lógicos y sus críticos. Ante las deficiencias del *principio de verificación* del empirismo lógico (Popper 1980), resalta el método de falsación de Karl Popper. El método consiste *grosso modo* en lo siguiente: toda teoría científica debe someterse a una estricta revisión tanto teórica como empírica. En sentido teórico, se evalúa su estructura lógica y el progreso respecto de otras teorías. En sentido empírico, las teorías se contrastan con los datos empíricos a través de hipótesis particulares que se deducen de ellas. De esta forma, si las hipótesis particulares son falseadas, es decir, hay evidencia empírica que las contradice, entonces la teoría en su conjunto es falsa y debe ser desechada (Popper 1980). Se trata de un procedimiento deductivo.

La pertinencia del método de falsación se ha discutido ampliamente en el ámbito de la filosofía de la ciencia y, como señala Deborah Redman (1995), existen motivos por los cuales resulta un fracaso. Así, se pueden destacar los siguientes: i) las teorías científicas no se componen solo de enunciados aislados sino de entramados de supuestos, por lo que no es posible identificar aquél supuesto que "causa" dificultades en alguna teoría. Por este motivo, las teorías no pueden ser falseadas en forma definitiva; ii) una teoría es "confiable" si ha pasa-

do por muchas pruebas. Pero este razonamiento es inductivo, lo que contradice la propuesta de razonamiento deductivo de Popper; iii) la historia de la ciencia muestra que en el proceso de construcción de una teoría, esta no se rechaza si se contradice con los datos. La historia de la ciencia contradice la propuesta de Popper; iv) en la propuesta de Popper, se sobreestima la disposición que tienen los científicos para revisar y criticar sus propias teorías y, por último, v) no son confiables los enunciados de percepción (Redman 1995). Cabe señalar, que estas críticas al método de Popper incluyen su aplicación tanto en las ciencias naturales como en las sociales: “Así, también ancló su filosofía de las ciencias sociales en la falsación y redujo las teorías sociales a enunciados universales” (Redman 1995, 127).

Cabe recordar que la economía era para Popper su ciencia social predilecta y pensaba que era posible hablar de “leyes” en el mismo sentido que en física. Por este motivo, sugirió a los economistas utilizar su método de falsación para probar teorías (Redman 1995). De esta forma, los economistas desarrollaron métodos estadísticos bajo la notable influencia del método de Popper, es decir, bajo la idea de que: “...la evidencia empírica es el árbitro *absoluto* de la verdad en economía” (Redman 1995, 131). Así, los pioneros de la econometría, autores como Jacob Marschak, Jan Tinbergen y, posteriormente, Tjallin Koopmans, iniciaron el desarrollo de este método bajo la influencia de Popper (Redman 1995). Sin embargo, las críticas a la econometría llegaron relativamente pronto. Autores como Leamer (1983) y Hendry (1988) dirigieron sus críticas a la econometría en el sentido de que sus métodos no bastan para contrastar empíricamente las teorías económicas y decidir cuál se aproxima más a la verdad. Sin embargo, este desencanto por la econometría, como un método adecuado para contrastar teorías con la “evidencia” empírica en el sentido de Popper que, por cierto, reconocieron los pioneros de la econometría, parece no haber afectado a las siguientes generaciones, las cuales, han asumido esta creencia bajo el desconocimiento de este contexto (Redman 1995). Por otra parte, es cierto que estas críticas motivaron a estadísticos y econometristas a mejorar las técnicas que garanticen la obtención de correlaciones no espurias, así como a desarrollar pruebas para identificar causalidad estadística entre variables.

A pesar de la imposibilidad de probar teorías económicas en el sentido de Popper, la econometría continúa siendo la forma estándar reconocida en el mundo de la economía para acercarse a los datos en forma sistemática y buscar cierta conexión con alguna hipótesis teórica. Esto es un indicio de que la idea errónea de que la econometría es un método para probar teorías ha quedado impregnada entre los economistas. Sin embargo, cabe rescatar el intento de vincular la teoría con los datos, lo cual, no es tarea fácil, pues se requiere no solo del conocimiento especializado de técnicas estadísticas y de probabilidad sino,

también, de una amplia experiencia y cierta habilidad. En este sentido, la econometría ha contribuido al análisis y comprensión de los fenómenos económicos. Por estos motivos, quizás, la econometría constituye una subárea especializada dentro de la economía y guarda independencia respecto de otras subáreas tales como la economía matemática.

A esta crítica de carácter epistemológico, se pueden agregar otras observaciones en sentido metodológico. Si bien es cierto que los tipos de modelos econométricos se han ampliado a partir de las críticas a los supuestos de los modelos bajo el enfoque tradicional, es decir, aquellos que se apegaban estrictamente a los supuestos de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), la perspectiva de análisis del comportamiento de los datos sigue siendo estática. Por ejemplo, la gama de modelos econométricos que abordan el análisis del comportamiento no lineal de los datos han superado el supuesto de normalidad característico en el enfoque tradicional de MCO, pero el análisis continúa siendo estático, es decir, como una fotografía de un fenómeno económico en un momento del tiempo. La econometría se vuelve una limitación cuando se busca comprender fenómenos de la economía, que pueden resultar de las interacciones dinámicas de sus componentes. Por ejemplo, el desarrollo económico, los craks financieros, la innovación tecnológica, por mencionar algunos. En estos casos, los economistas suelen buscar otras técnicas que complementen sus análisis econométricos y que puedan dar luz a la comprensión de los fenómenos estudiados. Una de estas técnicas es la teoría de redes. A continuación, se ofrece un panorama de la teoría de redes y algunas de sus aplicaciones en economía con el propósito de ofrecer una alternativa metodológica que sea complementaria al análisis econométrico y que permita comprender mejor la naturaleza de los fenómenos de la economía.

Redes complejas y economía

Antecedentes

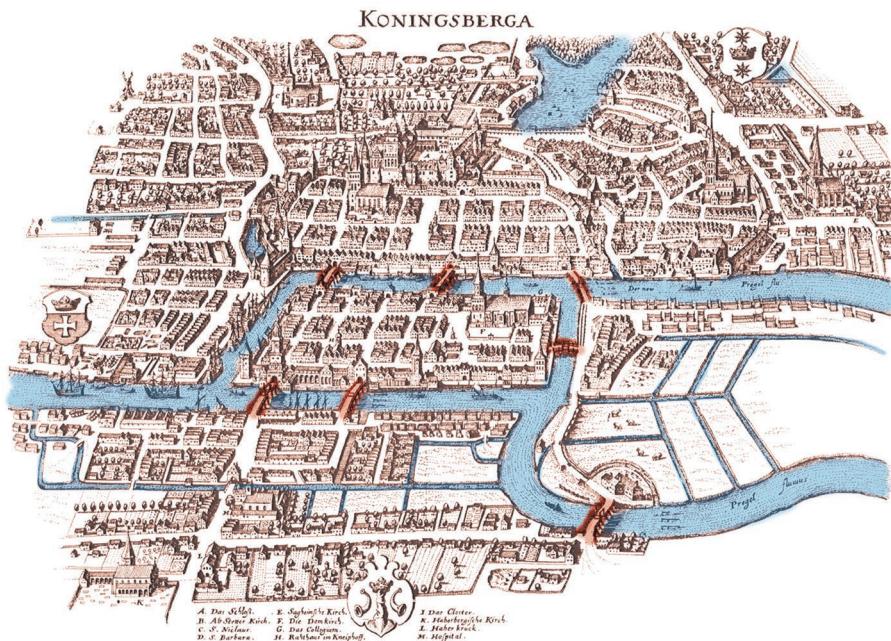
La teoría de redes constituye una perspectiva y una metodología. Pone énfasis en el estudio de las formas en cómo se hallan conectados los componentes de un sistema. De acuerdo con esta perspectiva, las redes están presentes en todos los aspectos de nuestra vida (Solé), por ejemplo, el mundo tecnológico que nos rodea está lleno de redes. Las redes de comunicación formadas por los teléfonos celulares, las redes de energía eléctrica, las redes de computadoras, las redes sociales y, en particular, la world wide web (www), son parte importante de nuestra vida cotidiana. La sociedad también está interconectada en forma de red. La red de amistades entre individuos, las relaciones de trabajo y la red de relacio-

nes de negocios entre personas y empresas son ejemplos de redes socioeconómicas. Ciudades y países están conectados por redes de carreteras y aerolíneas, entre otras. En fin, la sociedad y en particular el mundo de la economía se caracterizan por la abundancia de redes.

Como una metodología, la teoría de redes tiene como propósito describir las propiedades matemáticas de las redes, para lo cual, ha desarrollado la teoría de grafos. Los grafos son modelos que representan las propiedades topológicas esenciales de una red mediante una descripción en términos de conjuntos de nodos y aristas. Por ejemplo, en la red de computadoras conocida como Internet, las computadoras pueden ser representadas por nodos y los cables que las conectan se representan mediante aristas. Este es un simple pero poderoso concepto que, gracias a su sencillez, puede ayudarnos a explicar propiedades de diferentes sistemas como los mencionados anteriormente.

Los inicios de la teoría de grafos se remontan al siglo XVII con los trabajos del gran matemático y físico suizo Leonhard Euler (1707–1783), conocido como el padre de esta teoría y de otros campos de la matemática. La teoría de grafos inició con el estudio del famoso problema de los puentes de Königsberg. El problema consistía en la posibilidad de cruzar una sola vez los siete puentes que conectan las distintas partes de esta ciudad, tal como se observa en la figura 1.

Figura 1. Los puentes de Königsberg.



Euler pensó que el único factor importante en este problema es la estructura topológica de la red y, por lo tanto, que el problema podía simplificarse en un problema de recorrido en un grafo (gráfica) que contiene nodos (partes de la ciudad) y enlaces (los puentes). Así, la solución del problema implica que todo nodo en la gráfica, excepto posiblemente el primero y el último visitado, deben estar conectados con un número par de puentes (considerando que se entra y sale el mismo número de veces). En Königsberg más de dos nodos tienen un número impar de enlaces y, por lo tanto, los puentes no pueden ser atravesados por tal trayectoria (conocida como *camino euleriano*).

Este simple, pero poderoso argumento, muestra el alcance de la teoría de grafos, permitiéndonos deducir propiedades de sistemas del mundo real usando la simplificación con el propósito de construir un modelo muy básico. En la vida real, los grafos requeridos para comprender fenómenos, como los mencionados al inicio del presente apartado, son más difíciles de analizar porque cambian con el tiempo. Por ejemplo, las relaciones sociales se crean y se rompen, las redes tecnológicas cambian diariamente por la adición de nuevos nodos y nuevos enlaces y las redes biológicas cambian a través de procesos evolutivos y ambientales.

En los años sesenta del siglo veinte, Paul Erdős (1913–1996) y Alfred Rényi (1921–1970) introdujeron un nuevo concepto que ha permitido el estudio de tales redes: la teoría de grafos aleatorios.¹ Su aportación fue combinar los conceptos de teoría de grafos con herramientas de la teoría de probabilidad y considerar familias de grafos en lugar de grafos específicos. La teoría de grafos aleatorios es a la teoría de grafos lo que la mecánica estadística es a la física newtoniana. Es decir, a nivel microscópico subyace la conducta en pequeña escala, pero cuando se considera el comportamiento a un nivel mayor, emergen nuevas conductas y conceptos estadísticos.

Ahora bien, considerando que la física estadística estudia sistemas donde interactúan un gran número de átomos y moléculas, es natural suponer que sus métodos son útiles en el estudio de redes. En efecto, conceptos tales como los de *percolación, escalamiento, parámetros de orden, renormalización, autosimilaridad y transición de fase*, provienen de la física estadística y están presentes en el campo de los grafos aleatorios y se emplean para estudiar estas redes.

A finales del siglo veinte, con la llegada de las computadoras, la disponibilidad de grandes cantidades de datos y las herramientas para analizarlos, quedó claro que la teoría clásica de redes aleatorias falla en la descripción de muchos fenómenos del mundo real. Con los trabajos de Barabasi y Albert (1999) sobre

¹ Consultar: P. Erdős y A. Rényi (1959). *On random graphs*. Publications Mathematica.

Internet² y de M. Faloutsos *et al.* (1999)³ sobre la red de *routers* en Internet se estableció que la distribución de enlaces de estas redes y otras muchas no son completamente aleatorias y no pueden ser descritas por grafos con el modelo Erdős–Renyi. Este y otros hallazgos han dado paso a una nueva forma de teoría de grafos que toma en cuenta correlaciones menos triviales que se han encontrado en las redes del mundo real. Estos resultados explican, por ejemplo, por qué los virus y los gusanos son capaces de sobrevivir en Internet por largos períodos de tiempo.

Cuadro 1. Conceptos básicos sobre redes.

| Término | Formulación matemática | Descripción |
|-----------------------|---|--|
| Grafo (Red) | $G(V, E)$ | Conjunto de vértices (nodos) y enlaces (aristas) que conectan esos nodos. |
| Vértice (nodo, actor) | $v \in V$ | Cada una de las partes (actores) que integran la red. |
| Arista (enlace) | $e \in E : E \subseteq V \times V$ | Cada relación (conexión) que se establece entre los vértices (nodos). |
| Vértices vecinos | $\exists e : e(u, v) \in E \Leftrightarrow \forall u, v \in V g_{u,v} \in \{0,1\} \wedge g_{u,v} = 1$ | El nodo u se llama vecino del nodo v si y sólo si existe una arista e que los conecte. |
| Caminata (w) | $w = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i$ | Una lista de vértices y aristas conectados secuencialmente y que forman una ruta continua en una red. |
| Sendero (t) | $t = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge e_i \neq e_j$ | Caso particular de una caminata donde todas las aristas son distintas (no se recorren más de una vez). |
| Camino (p) | $p = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge v_i \neq v_j$ | Caso particular de una caminata donde los vértices no se recorren más de una vez (todos son distintos). |
| Ciclo | $c = (v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_{n-1}, e_{n-1}, v_n) : \forall i, j, n \{v_i, v_{i+1}\} = e_i \wedge \forall k, n-1 v_k \neq v_j \wedge v_1 = v_n$ | Caso particular de una caminata que inicia y termina en el mismo nodo visitando los demás nodos una vez. |
| Distancia | $d(u, v) = \min \left\{ \sum_{p_i \in P} e(u, v) \right\}$ | Longitud del camino más corto entre dos vértices de la red. Cuando no hay conexión entre dos vértices la distancia se considera ∞ . |
| Diámetro | $diam(G) = \max \{d(u, v) \mid \forall u, v \in V\}$ | Es la mayor distancia de todas entre los caminos que llegan de un vértice a otro en la Red. |

Fuente: Elaboración propia con base en Gräßner *et al.* (2017) y Samaya (2015).

2 Consultar: A. L. Barabási y R. Albert (1999). “Emergence of scaling in random networks”. *Science*, 286: 509-512

3 Consultar: M. Faloutsos, P. Faloutsos y C. Faloutsos (1999). “On power-law relationship of the internet topology”. *Computer Communication Review*, 29: 251.

Los conceptos enlistados pueden visualizarse con sus respectivos grafos en dos dimensiones. Aunque para algunos casos resulta adecuada esta representación, se consideran otros conceptos para el estudio de redes con una gran cantidad de nodos. En el cuadro 2 se presentan algunos de estos conceptos adicionales.

Una vez revisados los conceptos básicos y adicionales sobre redes, en el siguiente apartado se hará un breve recorrido del uso de la teoría de redes en economía.

Uso de redes en economía

De acuerdo con Gräßner *et al.* (2017) la teoría de redes entró a la economía mediante el estudio de las interacciones no lineales de conceptos agregados tales como las industrias en cadenas de suministro. Este enfoque pronto se conjuntó con otros enfoques de la literatura científica que investigaban el papel de las redes sociales en la economía, así como de las distintas estructuras a nivel micro sobre las interacciones económicas entre empresas y agentes de todo tipo. En efecto, como se mencionó al final del primer apartado, el estudio de algunos fenómenos específicos de la economía que se caracterizan por las interacciones entre los agentes y su dinámica a través del tiempo han requerido del uso de

Cuadro 2. Conceptos adicionales sobre redes.

| Término | Formulación matemática | Descripción |
|----------------------|--|--|
| Matriz de adyacencia | $\forall m \in \{M_{n,n} : N \times N \rightarrow \{0, 1\}\} \wedge G(V, E) \quad \exists m : \forall 1 \leq i, j \leq n, n \in N \quad a_{ij} \in m \subseteq V \times V \subseteq M_{n,n}$ $a_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{si } i = j \\ 1, & \text{si } v_i \text{ está conectado con } v_j \text{ en } G \end{cases}$ | Una matriz cuyos renglones y columnas son los nodos de la red, además, el i -ésimo renglón con la j -ésima columna forman la entrada a_{ij} y su valor es 1 si el nodo i es vecino del j , o cero en caso contrario. |
| Lista de adyacencia | $\forall m \in \{M_{n,n} : N \times N \rightarrow \{0, 1\}\} \quad \exists \hat{m} \wedge G(V, E)$ $: \forall 1 \leq i, j \leq n, n \in N \quad b_{ij} \subseteq a_{ij} \subseteq \hat{m} \subseteq V \times V \subseteq M_{n,n}$ $b_{ij} = \{j\} \times \{v_j, \text{ si } v_i \text{ está conectado con } v_j \text{ en } G\}$ | Una tabla cuyos renglones son el listado de vecinos adyacentes al nodo i . |
| Grado de un vértice | $\delta(v_i) = \sum_{j=1, n} e_{ij}$ | La suma de las aristas conectadas al vértice v . |
| Clustering | $C(i) = \frac{\# \text{ Triángulos}}{\# \text{ Triadas}}$ | Un triángulo es un conjunto de tres vértices diferentes conectados entre ellos. Una triada es un conjunto de dos vértices que comparten una arista en común. |

Fuente: Elaboración propia con base en Gräßner *et al.* (2017) y Samaya (2015).

otros métodos de análisis distintos a la econometría. Así, en el contexto de las teorías del desarrollo, destaca el análisis estructural de la economía basado en la información que proporcionan las matrices de insumo–producto. El análisis estructural basado en esta metodología, pone énfasis en las relaciones intersectoriales y cómo éstas cambian a través del tiempo en una industria, país, región o conjunto de países. Por ejemplo, el pensamiento cepalino en América Latina se ha caracterizado, desde su fundación en 1949, por su enfoque estructural y dinámico de la economía para analizar las causas del rezago económico de los países de la región. Su principal instrumento de análisis ha sido insumo–producto, pero recientemente, sus investigaciones tienden a usar la metodología de redes. Por otro lado, el uso de la teoría de redes tiende a aumentar en los estudios sobre cambio tecnológico en el marco, principalmente, de la teoría evolucionista. La configuración y funcionamiento de los sistemas tecnológicos, sistemas nacionales de innovación y sistemas internacionales de innovación tienden a estudiarse con la metodología de redes para describir la estructura de las relaciones entre los agentes, organizaciones e instituciones que participan en los procesos de innovación y, al parecer, la tendencia seguirá aumentando los próximos años.

No obstante que algunas teorías no toman en cuenta el enfoque metodológico de la teoría de redes, no significa que sus modelos no estuvieran sujetos a las propiedades de las redes subyacentes implícitas a ellos. La teoría del equilibrio general, por ejemplo, emplea las redes estrella (las que tienen un hipotético subastador en el centro) o las gráficas completas (que suponen una completa homogeneidad en un hipotético mercado global sin costos de transacción u otro obstáculo). Esto muestra el potencial de la teoría de redes y su posible utilización en la economía. En el siguiente apartado, se describen algunas características de la estructura y dinámica de las redes en economía.

Estructura y dinámica de redes en sistemas económicos

Gräbner *et al.* (2017) ponen énfasis en las siguientes características de las redes económicas:

- i) diámetro de la red;
- ii) grado de distribución de la red;
- iii) grado de *clustering* (qué tan densamente conectados están los nodos de la red).

Para consultar un resumen de los detalles técnicos se pueden consultar los cuadros de conceptos, y para una explicación más detallada se puede consultar Samaya (2015).

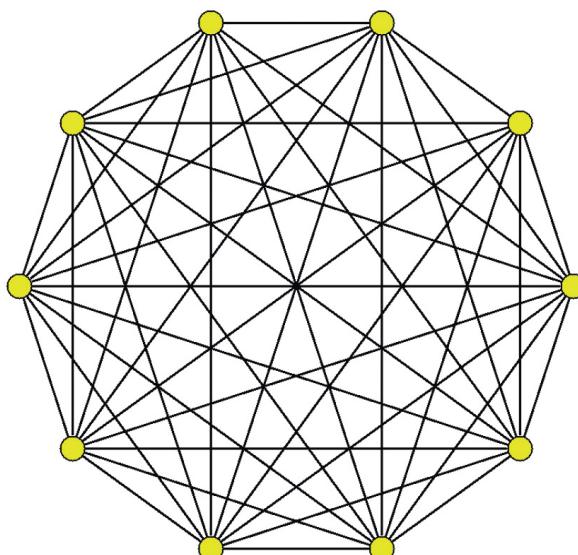
Una característica que distingue a las redes “sociales” de las que no lo son es su alta densidad de conexión (*clustering*) (figura 2). La interpretación de este parámetro dependerá de la definición de las aristas de la red; en una red de innovación, por ejemplo, una arista conecta a dos empresas que tienen colaboración científica cercana sin importar su distancia geográfica. Hay entonces una interpretación funcional para los arreglos de nodos (*clusters*).

Propiedad de mundo pequeño

Las redes “sociales” no solamente están altamente conectadas, también se caracterizan por una baja distancia promedio entre nodos. A las redes con altos coeficientes de conexión (*clustering*) y pequeño diámetro se les conoce como *redes de mundo pequeño*.

Flemming (2007) se refiere a estas redes de mundo pequeño en el contexto económico. En su artículo investiga los efectos de la colaboración en una red de innovación. Adicionalmente, investiga el desarrollo y explotación de una novedosa base de datos sobre patentes de coautores usando modelos estadísticos. Con su estudio concluye: 1) que la existencia de estructuras regionales del tipo mundo-pequeño mejora la productividad innovadora dentro de sectores geográficos, y, 2) las distancias más cortas entre nodos y la mayor conectividad entre los componentes se correlaciona con la innovación.

Figura 2. Red altamente conectada.



Fuente: Elaboración propia.

Escalamiento y colas

Otra sorprendente propiedad de las redes del mundo real es que el grado de distribución es altamente asimétrico comparado con el número de vecinos. En este caso, la distribución resultante se conoce como “libre de escala” y se le llama así porque la forma de esta permanece invariante bajo cualquier escala de agregación que se tome.

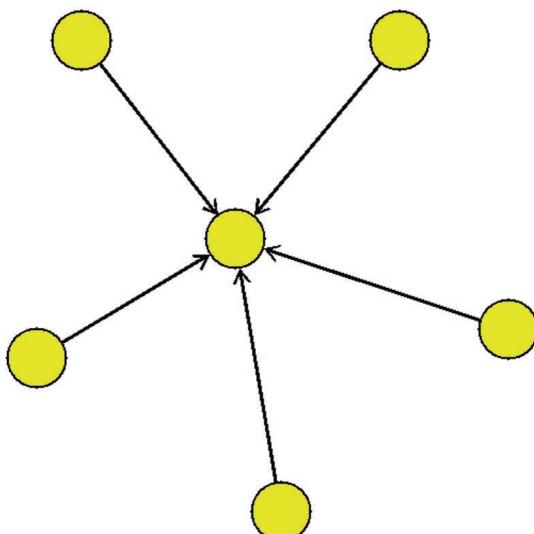
Sobre este tema, el trabajo de Barabási (1999) contiene un resultado muy importante, muestra como una propiedad de las grandes redes complejas el que la conectividad de los vértices sigue una distribución en forma libre de escala. Encuentra que: i) las redes se expanden continuamente mediante la adición de nuevos vértices, y, ii) el desarrollo de grandes redes es gobernado por fenómenos de autorganización robustos.

Estructuras tipo centro–periferia

Muchas redes relevantes, como las redes de préstamos bancarios y las de comercio entre países pueden caracterizarse como redes tipo centro–periferia.

La idea central es que esta red se encuentra formada por un centro “denso y cohesivo” (grupo de nodos) y, finalmente, por una “dispersa y desconectada” periferia de nodos. De aquí se tiene que el centro lo ocupan los nodos dominantes, en contraste con la periferia integrada por nodos subordinados (figura 3).

Figura 3. Red centro–periferia.



Fuente: Elaboración propia.

Barabási (2007) caracterizó la adopción de nuevos productos bajo esta estructura empleando métodos empíricos, el principal resultado es que los productos más sofisticados están en un “centro” altamente conectado y denso, mientras que los productos menos sofisticados están en una periferia menos conectada.

Este breve recorrido sobre el uso de la metodología de redes muestra su potencial como un enfoque y herramienta de análisis empírico que puede complementar los análisis econométricos y mejorar la comprensión de los fenómenos económicos.

Conclusión

Si bien entre los economistas se reconoce a la econometría como la metodología estándar para probar las distintas teorías de la economía (en el sentido de Popper) y en la toma de decisiones de políticas públicas y privadas se desconoce, en general, la amplia discusión en filosofía de la ciencia acerca del método de falsación propuesto por Popper y, en consecuencia, se desconocen también los alcances y límites epistémicos de la econometría: no es una metodología para probar teorías en el sentido de Popper, ya que la propuesta de Popper no es consistente con la naturaleza de las teorías científicas, ni con la evidencia que muestra la historia de la ciencia. La econometría no es una metodología para probar teorías en el sentido de Popper. Sin embargo, es una metodología útil para acercarse al conocimiento empírico de los fenómenos de la economía y para intentar conectar el comportamiento de los datos con alguna hipótesis derivada de alguna teoría. En este sentido, resulta útil en el camino de ida y vuelta entre las teorías y la evidencia empírica. Además, no obstante los indudables avances de las técnicas econométricas para el análisis de los datos, este se inscribe dentro de una perspectiva estática y no logra captar las interacciones dinámicas que caracterizan una gran cantidad de sistemas que funcionan en la economía, tales como los fenómenos de desarrollo económico, innovación tecnológica, sistemas financieros, entre otros.

Ante estas deficiencias, se observa una tendencia creciente en el uso de otras metodologías que puedan complementar los análisis econométricos. Una de estas metodologías es la teoría de redes. Así, en el presente artículo, se caracterizó la metodología de redes a través de algunos conceptos básicos y se presentaron algunos ejemplos de su uso en la economía. Redes de mundo pequeño, centro-periferia y redes libres de escala son algunos ejemplos del tipo de redes presentes en los fenómenos de la economía y esta metodología puede resultar muy útil en el estudio del comportamiento de estos fenómenos y complementar los análisis econométricos. ■

Referencias

- Arthur, B. «Competing technologies, increasing returns and lock in by historical events.» *Economic Journal*, 99(394), 1989, 116-31.
- Barabási, A. «Emergence of scaling in random networks.» *Science*, 286(5439), 1999, 509-12.
- . «The product space conditions the development of nations.» *Science*, 17(5837), 2007, 482-87.
- y R. Albert. «Emergence of scaling in random networks.» *Science*, 286, 1999.
- Bunge, M. *La investigación científica*. México: Siglo XXI Editores, 2004.
- Erdős, P. y A. Rényi. *On random graphs*. Puplications Mathematica, 1959.
- Faltousos, M. P. Faltousos y C. Faltousos. «On power-law relationship of Internet topology.» *Computer Communication Review*, 29, 1999, 251.
- Flemming, L. «Small worlds and regional innovation.» *Organization Science*, 18(6), 2007, 938-54.
- Gräßner, C., Torsten, H. y Muhamed, K. «Network theory and social economics — a promising conjunction?» MPRA Paper, 20 de enero, 2017. <https://mpra.ub.unimuenchen.de/76423/>.
- Gujarati, D. y Porter, D. *Econometría*. México: McGraw Hill, 2009.
- Popper, K. (1980). *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Técnicos, 1980.
- Redman, D. «La teoría de la ciencia de Karl Popper y la econometría.» *Cuadernos de Economía*, 23, semestre II, 1995, 117-149.
- Samaya, H. *Introduction to the modeling and analysis of complex systems*. Open SUNY Textbooks, Milne Library. State University of New York at Geneseo, 2015.
- Wooldridge, J. *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno*, 4a ed. CENGAGE Learning, 2010.

Andrés García Medina*

El uso de Twitter en el análisis financiero: aproximación desde la econofísica

Resumen | Se han utilizado técnicas matemáticas provenientes de la física estadística, especialmente de la teoría de matrices aleatorias (RMT, por sus siglas en inglés), para analizar datos textuales de *Twitter* en el contexto de los mercados financieros globales. Para esto, se ha analizado un periodo de tiempo de 7 meses a lo largo de 2014, considerando los retornos de 20 índices financieros globales para comparar los resultados. La información textual se logró extraer mediante el ensamblaje de distintos lenguajes de programación, construyendo series de tiempo de polaridad mediante el análisis de sentimiento. RMT reveló que existen correlaciones verdaderas en los índices financieros y las polaridades. Además, se encontró una buena concordancia entre el comportamiento temporal de los eigenvalores extremos de los retornos y polaridades, con resultados similares para la razón de participación inversa, lo cual nos da información acerca de la emergencia de factores comunes en la información financiera global, sin importar si estamos utilizando polaridades o retornos como fuente de datos. Nuestros resultados sugieren que al utilizar las polaridades de *Twitter* y *NYT* como un nuevo indicador financiero, proveen de información relevante acerca del comportamiento colectivo de los índices financieros globales. Esto genera una fuerte y novedosa evidencia en contra de la hipótesis de mercado eficiente, y apoya la tendencia de la economía conductual, la cual afirma que los precios de los mercados se ven afectados por las decisiones iracionales de los inversionistas, siendo estos influenciados por la tendencia de las noticias y redes sociales.

23

The use of Twitter in financial analysis: An approach from the econophysics

Abstract | Mathematical techniques from statistical physics, especially from random matrix theory (RMT), have been used to analyze textual data from Twitter in the context of global financial markets. For this, we have analyzed a period of time of 7 months along

Recibido: 23 de mayo de 2017. Aceptado: 21 de junio de 2017.

* Doctor en ciencias (física) por la Universidad de Sonora. Actualmente es profesor de asignatura en la Facultad de Ciencias de la Universidad Autónoma de Baja California, (UABC).

** Versión adaptada de [1].

Correos-e: andres.garcia.medina@uabc.edu.mx | andgarm@gmail.com

2014, considering the returns of 20 global financial indices in order to compare the results. Textual information was extracted by assembling different programming languages, constructing time series of polarity through sentiment analysis. RMT revealed that there are true correlations in financial indices and polarities. In addition, a good concordance was found between the temporal behavior of the extreme eigenvalues of returns and polarities, with similar results for the inverse participation ratio, which gives us information about the emergence of common factors in global financial information, regardless if we are using polarities or returns as data source. Our results suggest that using polarity as a new financial indicator provide of useful information about collective and even individual behavior of global financial indices. This builds a strong and novel evidence against the efficient market hypothesis, and supporting the school of behavioral finance where the market prices are affected by the irrational decisions of investors, which are influenced by trending news and social networks.

Palabras clave | teoría de matrices aleatorias, *Twitter*, análisis de sentimiento, economía conductual

Key Words | random matrix theory, Twitter, sentiment analysis, behavioral finance

Introducción

Durante los últimos años ha surgido una enorme contribución de la física teórica hacia el entendimiento de los sistemas económicos, dando lugar a la emergencia de un nuevo campo de estudio denominado econofísica [2-4]. Dentro de esta área, entender la estructura de las correlaciones entre diferentes mercados financieros es una de las líneas de investigación que más rápidamente crece debido a la gran importancia en el contexto de la optimización de portafolios [5]. Un nuevo enfoque para entender este tipo de correlaciones viene de la teoría de matrices aleatorias (RMT, por sus siglas en inglés), la cual fue introducida en estadística matemática por Wishart en 1928 [6]. En la década de 1950, Wigner utiliza RMT para lidiar con la estadística de eigenvalores y eigenvectores de sistemas complejos de muchos cuerpos en el contexto de la física nuclear [7, 8, 9, 10]. Muchos fenómenos de la física han sido resueltos exitosamente utilizando el formalismo de RMT, pero no fue hasta la aparición de los trabajos casi simultáneos de Stanley *et al.* [11] y Bouchoud *et al.* [12] que se incrementó considerablemente la cantidad de estudios dedicados a entender la estructura de los mercados financieros a través de la aplicación de métodos provenientes de RMT [13, 14, 15, 16, 17].

Por otro lado, la influencia de las noticias financieras y de las redes sociales no ha sido explorada exhaustivamente debido a la Hipótesis del Mercado Eficiente (EMH, por sus siglas en inglés). De acuerdo con la EMH, el precio de la acción

incorpora instantáneamente toda la información disponible del mercado, y su valor no depende del precio en el pasado [17]. No obstante, recientemente una serie de trabajos han comenzado a investigar la influencia de las fuentes textuales de Internet en los movimientos de los mercados [18-25], mostrando que la información extraída de *Twitter*, *StockTwits*, *Google Trends*, y la revista financiera *Financial Times*, dan indicaciones tempranas que pueden ayudar a predecir cambios en la bolsa de valores. Estos nuevos resultados están construyendo un fuerte sustento en contra del tan aceptado paradigma de mercado eficiente, apoyando la aproximación de la economía conductual [26]. En ese sentido, los resultados de este trabajo intentan mostrar una evidencia más en contra de este paradigma desde una nueva perspectiva.

La aproximación que se seguirá aquí para analizar los mercados financieros globales se sustenta en los resultados de RMT. Asimismo, en este estudio se incorpora la influencia de la red social *Twitter* mediante el análisis de sentimiento, el cual se basa en asignar un valor numérico a los datos textuales de acuerdo a su contenido. Aquí se utilizó la polaridad como medida del estado de ánimo, relacionando el puntaje obtenido con el precio al cierre de las bolsas de valores estudiadas.

Nuestro método de análisis se desarrolla desde el marco conceptual de la física estadística y de los sistemas complejos, ya que intentamos descubrir propiedades emergentes que escapan a los analistas financieros en econometría. Sin embargo, cuando se intentan crear paralelismos entre la física estadística y los mercados financieros, una cuestión importante que se debe tener en cuenta siempre es la complejidad del comportamiento humano, el cual es el origen de toda estrategia de comercio en la bolsa de valores [4].

Este trabajo está organizado como sigue: se describen los datos analizados, así como la metodología para extraer la colección pública de tweets; se explica cómo se llevó a cabo el análisis de sentimiento, y se describe el método seguido para construir las series de tiempo de polaridad. Asimismo, se muestran los resultados y análisis de los mismos, comenzando con la construcción de la matriz de correlación y terminando con el uso de la teoría de matrices aleatorias en el contexto del análisis multivariante. Finalmente, se da una conclusión general del trabajo.

Datos analizados

Nuestro análisis se llevó a cabo para dos conjuntos diferentes de datos. El primer conjunto de datos está compuesto por los precios diarios al cierre de 20 índices financieros alrededor del mundo. Los países donde cotizan estos índices, así como los símbolos correspondientes están listados en las dos primeras

columnas de las tabla 1. El segundo conjunto de datos fue obtenido mediante la extracción de *tweets* asociados con cada uno de los índices financieros listados en el primer conjunto. Todas las consultas de *Twitter* fueron hechas en el horario universal (UTC), mientras que la consulta de los precios al cierre varía de acuerdo con la zona horaria donde cotizan los mercados involucrados de cada índice. Para ambos conjuntos de datos el periodo de tiempo bajo estudio comprendió del 22 de febrero al 13 de octubre de 2014, dando un total de $L = 166$ días de negociación, es decir, sin considerar los fines de semana. Los datos de los precios al cierre fueron obtenidos de la base de datos de *Bloomberg*, y siguieron el mismo preprocesamiento que en [27].

Por otro lado, todos los *tweets* fueron extraídos de la base de datos de *Twitter* mediante la interface *Twitter Search API*. Además, se utilizó un código *wrapper* en el lenguaje PYTHON para manejar de manera más eficiente los métodos del API de *Twitter*. Los *keyword* utilizados para obtener la colección de datos de *Twitter* se muestran en la tabla 1. Cabe resaltar que se obtuvieron aproximadamente 2,400 *tweets* por *keyword* por día, extrayendo en total cerca de 8 millones de *tweets* para este análisis.

Tabla 1: Lista de los índices financieros analizados en este trabajo.

| País | Símbolo de Bloomberg | Keyword Twiter |
|----------------|----------------------|---------------------|
| México | MEXBOL | IPC_MEXICO |
| Estados Unidos | SPX | SP500 |
| Argentina | MERVAL | MERVAL |
| Brasil | IBOV | IBOVESPA |
| Reino Unido | UKX | FTSE_UK_INDEX |
| Francia | CAC | CAC_40 |
| Suiza | SMI | SWISS_MARKET_INDEX |
| Alemania | DAX | DAX_INDEX |
| Austria | ATX | ATX_INDEX |
| Egipto | CASE | EGX_EGYPT |
| Israel | TA-25 | TEL_AVIV_STOCK |
| India | SENSEX | BSE_SENSEX |
| Indonesia | JCI | JAKARTA_STOCK |
| Malasia | FBMKLCI | BURSA_LALAYSIA |
| Singapur | FSSTI | STRAITS_TIMES_INDEX |
| Hong Kong | HSI | HANG_SENG_INDEX |
| Taiwan | TWSE | TAIWAN_STOCK |
| Korea del Sur | KOSPI | KOSPI |
| Japón | NKY | NIKKEI_INDEX |
| Australia | AS51 | ALL_ORDINARIES |

Notas: Primera columna: países donde cotizan los índices. Segunda columna: símbolo correspondiente en el sistema *Bloomberg*. Tercera columna: palabras clave elegidas para hacer la búsqueda en *Twitter*.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de sentimiento

El análisis de sentimiento es un campo de estudio del procesamiento de lenguaje natural, minería de opiniones, y lingüística computacional [28, 29]. El método de estados emocionales y el de polaridad son las dos aproximaciones principales para calificar numéricamente los datos textuales. Nosotros utilizamos la aproximación de polaridad debido a que se puede asociar de manera más directa con los movimientos positivos y negativos de los índices financieros. La polaridad, en esencia, mide la diferencia entre el número de palabras positivas y negativas encontradas en datos textuales, y está dada por la fórmula:

$$\text{polarity} = \frac{p - n}{p + n},$$

donde p y n se refieren al total de palabras positivas y negativas, respectivamente.

Por otro lado, la red social *Twitter* permite a sus usuarios mandar y recibir mensajes cortos de hasta 140 caracteres, a los cuales se les conoce como *tweets*. Un *tweet* es una combinación de caracteres intercalados con espacios en blancos, donde cada cadena de caracteres está compuesta por una secuencia alfanumérica, mezclada con caracteres especiales como son: @, \$, #, %, &, etc. Por lo que cada *tweet* necesita de un preprocesamiento para eliminar los caracteres no deseados, los cuales introducen ruido para interpretar el significado de la información contenida en su texto. El primer paso es dividir cada uno de los *tweets* en las cadenas de caracteres que lo componen, evitando los símbolos no alfanuméricos. Como resultado se obtiene una colección de palabras individuales. A esta operación se le conoce como *tokenización*. Una vez que el *tweet* es *tokenizado*, cada elemento de la colección de palabras se simplifica o reduce mediante el método de *stemming*, el cual consiste en eliminar los afijos morfológicos dejando solamente la raíz de la palabra. Al finalizar esta etapa, el *tweet* ya se encuentra listo para ser categorizado por el análisis de sentimiento.

En nuestro estudio, el análisis de sentimiento se realizó con ayuda del código PYSENTIMENT₃. Este código implementa el diccionario *Harvard IV*, el cual ha tenido éxito en predecir el desempeño de los mercados de valores [27, 28]. Este diccionario está compuesto de más de 8000 palabras y 182 categorías. Al considerar solamente las categoría *positive* y *negative* fue posible crear un conjunto de series de tiempo de polaridad a partir de la colección pública de *tweets*. Cada una de estas series de tiempo asociada a un único *keyword* de la tabla 1, por lo que el conjunto está compuesto de 20 series de tiempo. Estas series de tiempo se construyeron como sigue. Primeramente, la colección pública de *tweets* se clasificó por *keyword* y fecha en una base de datos. En seguida, a cada *tweet* de la base de datos se le calculó la polaridad mediante de arriba. Después, se calculó

el promedio de todas las polaridades para cada día y *keyword* dado. Finalmente, a este promedio se le consideró la polaridad $P_k(t)$ del *keyword* k al tiempo t , donde las unidades de tiempo se eligieron en días. En la tabla 2 se muestra esquemáticamente el proceso de cálculo de polaridad para un *tweet* individual.

Tabla 2. Ejemplo del proceso de cálculo de polaridad para un *tweet* individual.

| Proceso | Resultado |
|----------------|--|
| <i>Tweet</i> | "#SP500 closed near the lows for the week: Expecting more downside Monday. \$SPX" |
| Tokenización | {SP500, closed, near, the, lows, for, the, week, Expecting, more, downside, Monday, SPX} |
| Stemming | {sp500, closed, near, the, low, for, the, week, expect, more, downsid, monday, spx} |
| Categorización | {o, o, o, o, negative, o, o, o, o, negative, o, o} |
| Polaridad | -1 |

Fuente: Elaboración propia.

Análisis y resultados

En esta sección se presentan algunas técnicas matemáticas provenientes de la física estadística que nos ayudarán a entender la estructura de las matrices de correlación asociadas a nuestros datos empíricos, es decir, los datos provenientes de *Twitter* y de los índices financieros globales. Para los primeros, en lugar de los datos crudos se utilizaron las series de tiempo de polaridad, mientras que para los segundos datos se usaron los retornos diarios al cierre. Además, puesto que en general los mercados financieros no cotizan los fines de semana, se ajustaron las series de tiempo de polaridad a los días de cotización de los índices financieros, desfasando además sus valores por un día.

Matrices de correlación

Denotemos por $S_k(t)$ el precio al cierre del índice k al día t . Los retornos $R_k(t)$ para cada índice $k = 1, \dots, 20$ al tiempo t se obtienen mediante:

$$R_k(t) = \frac{S_k(t + \Delta t) - S_k(t)}{S_k(t)},$$

donde se eligió $t = 1$, tal que el intervalo de retorno sea de un día. Además, con el propósito de comparar nuestros datos empíricos con los resultados provenientes de la física estadística, las series de tiempo de polaridad y retornos son normalizadas. El retorno normalizado para el índice k al tiempo t está dado por:

$$r_k(t) = (R_k(t) - \langle R_k \rangle) / \sigma_k,$$

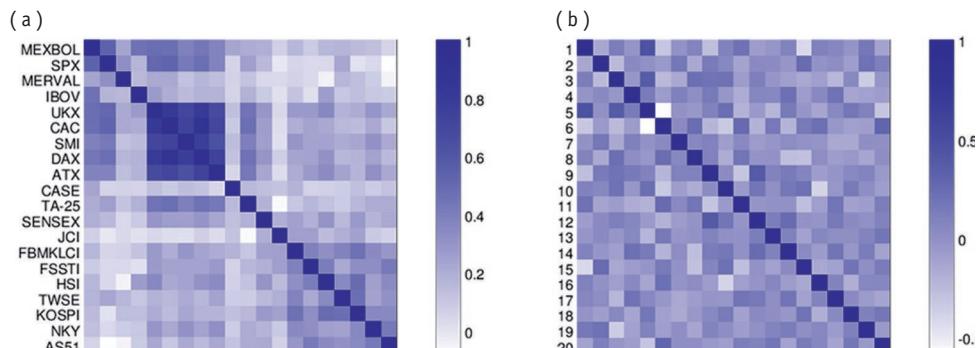
donde σ_k es la desviación estándar de R_k , y $\langle \dots \rangle$ denota el promedio temporal sobre el periodo estudiado. La polaridad se normalizó de la misma manera, y es denotada como $p_k(t)$ para el índice k al tiempo t . Por otro lado, la forma más simple de caracterizar los coeficientes de correlación entre series de tiempo normalizadas es mediante el cálculo de los elementos de matriz de Pearson:

$$c_{k,l}^{(x)} = \langle x_k(t)x_l(t) \rangle,$$

donde el superíndice x es para denotar el tipo de serie de tiempo con la que se está trabajando, de tal manera que $c_{k,l}^{(p)}$ y $c_{k,l}^{(r)}$ son los elementos de la matriz de correlación k, l , construidos a partir de las series de tiempo de polaridad y retornos, respectivamente.

En la figura 1 se muestran las matrices de correlación de las polaridades y retornos como mapas de calor. En estas figuras las etiquetas del *keyword* son remplazadas por el nombre del país que representa al índice financiero o a la serie de tiempo de polaridad asociada. En esta representación los cuadros de color más oscuro denotan las correlaciones fuertes, mientras que los cuadros más claros representan las correlaciones débiles o anticorrelaciones. Los casos extremos son $c_{k,l} = 1(-1)$, lo que corresponde a una perfecta correlación (anticorrelación), mientras que $c_{k,l} = 0$ significa que la correlación es nula entre los elementos k y l . Se puede ver en la figura 1a, que emergen algunos patrones en los datos de retorno, como es la fuerte correlación entre el sector europeo, Estados Unidos de Norteamérica y México, así como Norteamérica con Europa, y el sector asiático, lo cual refleja la codependencia de las economías debido a su

Figura 1. Twitter e índices financieros.



Notas: (a) Elementos de la matriz de correlación para datos de retorno. (b) Elementos de la matriz de correlación para datos de polaridad. En esta escala de representación de colores, el valor mínimo corresponde al blanco, mientras que los valores más grandes corresponden a colores azul intenso.

Fuente: Elaboración propia.

posición geográfica. No obstante, si seguimos la posición de estos índices en la figura 1b no encontramos la misma estructura. De aquí surge la necesidad de realizar un análisis más profundo para averiguar si existe una estructura de correlación oculta en la series de tiempo de polaridad.

Ensemble de Wishart

Deseamos ahora introducir una herramienta fundamental para el análisis multivariante proveniente de RMT. Sea W una matriz de dimensión $N \times T$, cuyos elementos son variables gaussianas estadísticamente independientes con media cero y varianza fija. La matriz $H = WW^+$ es conocida en RMT como matriz de Wishart y al *ensemble* (conjunto) generado por estas matrices como *ensemble* de Wishart (WE). Por construcción, estas matrices están formadas por N series de tiempo no correlacionadas de longitud finita T .

La densidad de probabilidad del espectro de eigenvalores se puede resolver analíticamente en el límite $N, T \rightarrow \infty$, y $Q = T/N \geq 1$, para el caso en que las entradas de la matriz H son números reales. A lo que se conoce como ley de Marcenko–Pastur [30]:

$$p(\lambda) = \frac{Q}{2\pi\sigma^2} \frac{\sqrt{(\lambda_+ - \lambda)(\lambda - \lambda_-)}}{\lambda},$$

la cual presenta las cotas $\lambda_- \leq \lambda \leq \lambda_+$, donde:

$$\lambda_{\pm} = \sigma^2 (1 + 1/Q \pm 2\sqrt{1/Q}).$$

La cuestión de interés para nosotros es que *si no existen correlaciones entre las series de tiempo, entonces la distribución de los eigenvalores de la matriz de correlación debe estar acotada dentro de la ley de Marcenko–Pastur*. Estas predicciones son conocidas como resultados universales de las matrices de Wishart, y constituyen la hipótesis nula de la ausencia de correlaciones entre las variables de estudio, en nuestro caso entre los índices financieros globales y las polaridades de Twitter.

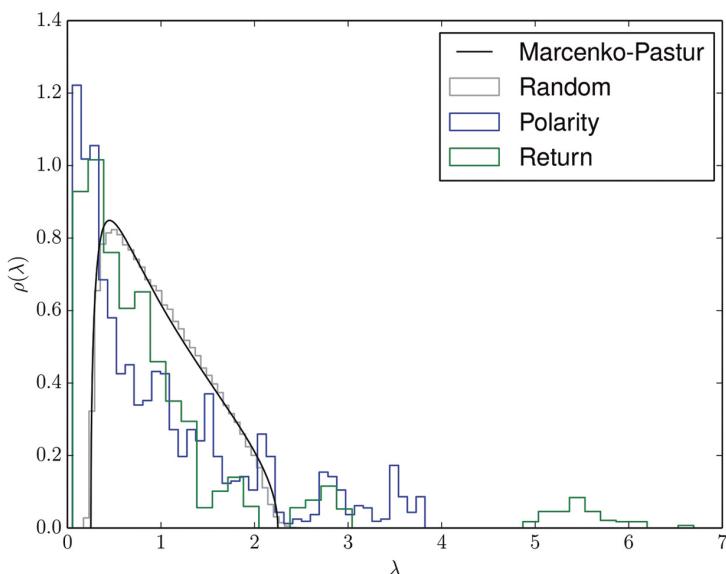
Aunque los resultados universales de las matrices de Wishart son válidos únicamente para dimensiones asintóticas ($N, T \rightarrow \infty$), compararlos con nuestros datos empíricos sigue siendo útil, ya que nos puede proporcionar indicios acerca de la presencia de correlaciones ocultas. Para este propósito, hemos construido un conjunto de matrices de correlación muestra a partir de ventanas de tiempo de $T = 80$ días de cotización, deslizándolas por un día. De esta manera, hemos obtenido dos muestras de $M = 86$ matrices de correlación, uno para los valores

de polaridad, y el otro conjunto para los de retorno. Dentro de estos conjuntos, cada matriz de correlación tiene dimensiones $N, T = 20 \times 80$, con $Q = T/N = 4$, por lo que el espectro de eigenvalores está acotado entre los límites $\lambda_- = 0.25$ y $\lambda_+ = 2.25$, y uno esperaría como hipótesis nula, que la gran mayoría de los eigenvalores no presenten correlaciones y se encuentren dentro de estos límites.

Sin embargo, se encontró que los eigenvalores extremos para el conjunto de matrices de correlación de polaridad están entre $\lambda_- = 0.0526$ y $\lambda_+ = 3.8215$, mientras los de retornos se encuentran entre entre $\lambda_- = 0.0556$ y $\lambda_+ = 6.6942$. Además, se encontró que solamente el 68:02% de los eigenvalores de polaridad y 72:27% de los de retorno caen dentro de los resultados universales de la RMT, es decir, dentro de la zona asociada a ruido, donde no se presentan correlaciones. La distribución de eigenvalores para los datos empíricos, así como de las matrices de correlación se han graficado en la figura 2, superponiendo la ley Marcenko-Pastur en la misma figura.

Es importante recordar que la distribución de Marcenko-Pastur es válida solamente para el límite asintótico, por lo que las distribuciones finitas siempre presentan desviaciones a este resultado. Además, entre más grande es el valor T/N , más confiables son los resultados, y las fluctuaciones son descritas de for-

Figura 2. Distribución de eigenvalores de las matrices de correlación.



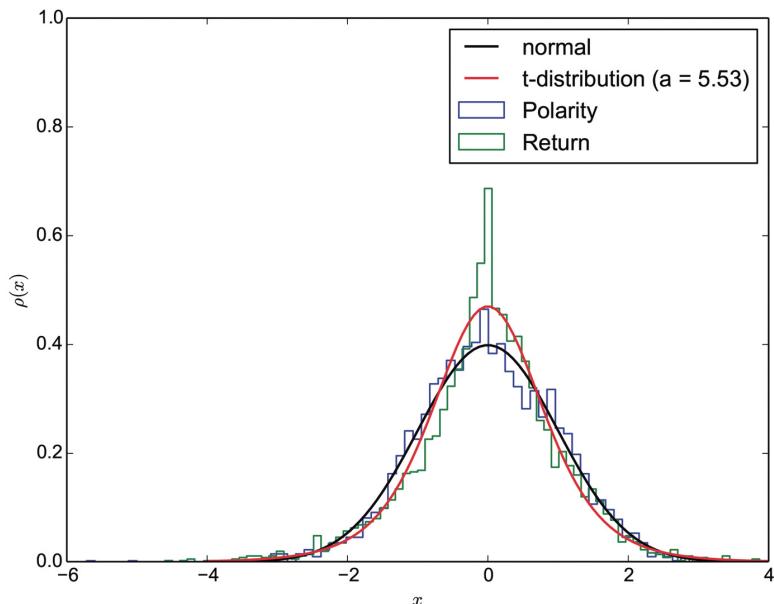
Notas: La línea negra muestra la ley de Macenko-Pastur. La línea gris representa los resultados numéricos para 10,000 miembros de WE, la línea azul los resultados para las polaridades, y la línea verde para los retornos.

Fuente: Elaboración propia.

ma más realista por la varianza de los datos. Pero si T/N es un número pequeño, los resultados se verán afectados fuertemente por la finitud de la matriz de datos. En estos casos es una práctica común utilizar técnicas de *noise dressing* para omitir el ruido intrínseco de la matriz de correlación [31-33]. Aun así, estas técnicas funcionan bien hasta dimensiones cercanas a $N = 50$, para dimensiones más pequeñas (que es nuestro caso) se debe proceder de manera diferente.

Otro hecho que puede generar desviaciones de los resultados universales de las matrices de Wishart se debe a que la distribución de los retornos usualmente tiene colas más largas que la distribución normal [1], la cual se asume de manera idealizada en la derivación de la ley de Marcenko-Pastur. Para observar este fenómeno, en la figura 3 se ha graficado la distribución de los datos empíricos junto con la distribución normal y la distribución *t-Student* para caracterizar la distribución de los retornos. Para nuestro periodo de estudio, el parámetro $a = 5.53$ fue el que mejor se ajustó al caracterizar la distribución de los retornos, mientras la distribución de las polaridades parece ajustarse mucho mejor con la distribución normal en este caso: cabe resaltar que los datos de polaridad parecen romper la regla de colas largas encontrada por muchos autores para los retornos.

Figura 3. Distribución de datos empíricos, donde se ha superpuesto la distribución normal y la distribución *t-Student* con el parámetro que mejor ajusta los valores de retornos.



Fuente: Elaboración propia.

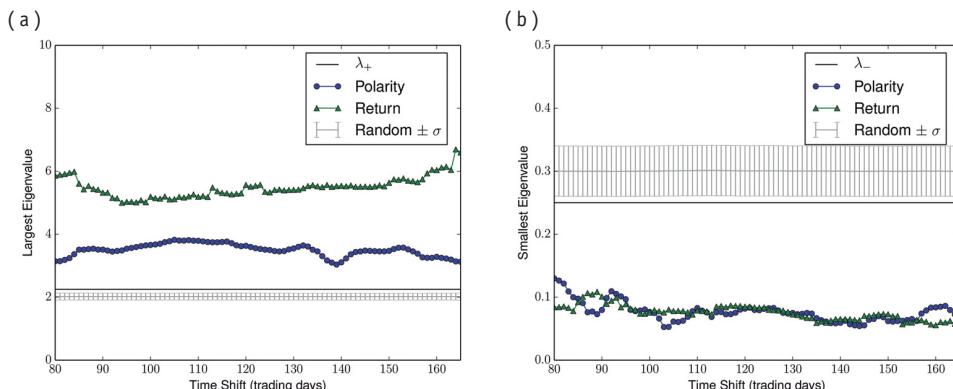
Eigenvalores extremos

En el área de riesgo financiero y optimización de portafolios, los eigenvalores más grandes y más pequeños representan cantidades muy importantes, pues están asociados con los casos extremos de riesgo en una cartera de inversión [5]. Los eigenvalores más grandes corresponden a una mezcla arriesgada de acciones o mercados financieros, mientras que los eigenvalores más pequeños están relacionados con un portafolio de bajo riesgo [34]. El eigenvalor más grande es el factor que representa la información colectiva de los índices, y el eigenvector correspondiente es conocido como el modo del mercado. Este eigenvector nos dice si los índices como conjunto van a la alza o a la baja, siendo su tendencia condicionada al estado actual del mercado [34].

Estas características han sido exploradas exhaustivamente con datos provenientes de los índices financieros. Sin embargo, hasta el momento no se ha hecho un estudio con datos textuales. Es por ello que aquí se explora si este fenómeno también emerge al trabajar con la información proveniente de *Twitter*. Para este fin se analizó el comportamiento temporal del eigenvalor más grande y más pequeño de las matrices de correlación empíricas para cada periodo de estudio, utilizando la misma muestra de matrices ($M = 86$).

En la figura 4 se muestran los resultados empíricos para nuestro periodo de estudio, junto con la media y desviación estándar de una simulación numérica de 10,000 miembros de *WE*, donde cada punto se calcula teniendo en cuenta los 80 días de transacción anteriores. Se puede observar que los resultados empíricos están lejos de los bordes teóricos, así como a más de tres desviaciones estándar de los resultados numéricos. Además, se encontró una anticorrelación fuerte entre polaridades y retornos al comparar el comportamiento temporal de sus eigenvalores más grandes. El coeficiente de Pearson encontrado fue $Pc = 0.70$, el de Spearman $Sc = 0.69$, ambos con valores de confidencia menores a 1×10^{-12} . Por el contrario, el comportamiento temporal de los eigenvalores más pequeños muestra correlaciones positivas más moderadas, con valores de $Pc = 0.45$ y $Sc = 0.49$.

El hecho de que el comportamiento temporal de los eigenvalores más grandes de los retornos y polaridades estén anticorrelacionados mutuamente, puede deberse a un retraso en la transmisión de información de *Twitter* hacia los precios de los mercados financieros globales. Pudiendo esto constituir una evidencia más en contra de la hipótesis de mercado eficiente. Además, el coeficiente de correlación que se encontró para el comportamiento temporal de los eigenvalores empíricos más pequeños revela que el portafolio de menor riesgo se preserva aproximadamente sin importar si usamos polaridades o retornos para su cálculo, por lo que *Twitter* resulta ser una fuente de información muy interesante para el análisis de portafolios.

Figura 4. Eigenvalores extremos para *Twitter* e índices financieros.

Notas: (a) Comportamiento temporal de los eigenvalores más grandes. (b) Comportamiento temporal de los eigenvalores más pequeños. La línea azul representa los resultados para las polaridades, la verde para retornos, y la línea negra los límites predichos por RMT para las matrices de Wishart, mientras que la línea gris representa la media y desviación estándar para una simulación numérica con 10,000 miembros de WE.

Fuente: Elaboración propia.

En general, estos resultados proveen evidencias acerca del surgimiento de factores comunes en la información financiera global, sin la necesidad de discriminar si los datos provienen de los retornos o de las polaridades, en otras palabras, con la información proveniente de *Twitter* parecer ser posible caracterizar el comportamiento colectivo de los mercados financieros globales.

Razón de participación inversa

La razón de participación inversa (IPR, por sus siglas en inglés) es una manera simple de cuantificar en cuántos estados está distribuida una partícula cuando existe cierta incertidumbre acerca de dónde se encuentra. Históricamente [35], la razón de participación (PR, por sus siglas en inglés) fue introducida para ayudar a clasificar las vibraciones atómicas en las redes cristalinas desordenadas [36]. Esta cantidad describe la fracción del número total de sitios que participan en un modo vibracional correspondiente al eigenvector $x = (x_1, \dots, x_n) \in R^n$, y toma el valor

$$PR = \frac{(\mu^1)^2}{\mu^0 \mu^2}$$

donde $\mu^r = \sum_{i=1} |x_i|^{2r}$ puede ser visto como el momento r de la energía cinética del modo. Si un modo dado envuelve el movimiento de un solo átomo, se caracteriza como localizado y tiene el valor $PR = 1/N$. Por el contrario, un modo vi-

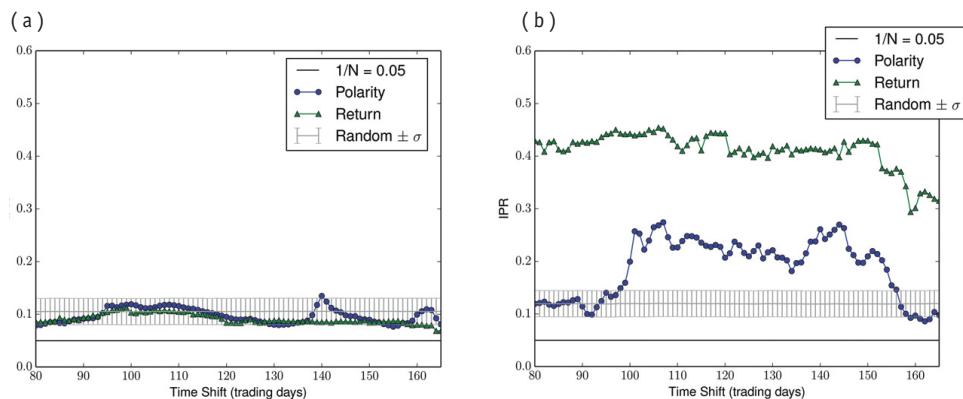
bracional que contenga a todos los átomos participando por igual es llamado extendido y tiene el valor $PR = 1$. Asimismo, una medida equivalente ha sido utilizada para estudiar el grado de localización de los eigenestados electrónicos en el modelo de Anderson [37] con implicaciones en la existencia de transiciones localizadas (no-localizadas) de un metal aislante en presencia de desorden.

En econofísica, una manera simple de extraer información a partir de los eigenvectores es estimando esta ipr , la cual nos permite conocer el número de índices que participan significativamente en cada eigenvector (o portafolio). Esta medida exhibe la distinción entre los eigenvectores asociados a los extremos y aquellos que pertenecen al resto del conjunto, dentro de la zona de ruido. Si se considera el k -ésimo eigenvector normalizado de la matriz de correlación $|V_k| = 1$, la ipr del eigenvector V_k se puede escribir como:

$$IPR_k = \sum_{j=1}^N |V_j^k|^4$$

cuyo valor siempre cae entre los límites $1/N$ y uno. Si el eigenvector V_k se encuentra localizado solamente en un componente, entonces $IPR_k = 1$. Por el contrario, si se encuentra distribuido uniformemente sobre los N componentes, entonces $IPR_k = 1/N$. Es de esperarse que los valores para IPR_N fluctúen cerca del límite inferior $1/N$, ya que corresponde al portafolio más diversificado, mientras que para IPR_1 se esperan valores más altos, ya que está asociado al eigenvalor más pequeño, y, por lo tanto, al portafolio menos diversificado [4]. Asimismo, para valores de $1 < k < N$, dentro de la región considerada como ruido, es de esperarse que surjan combinaciones aleatorias de los componentes, y, en consecuencia, valores de IPR_k comprendidos entre los de IPR_N y los de IPR_1 .

En la figura 5 se muestra el comportamiento temporal de IPR_N (figura 5(a)) y de IPR_1 (figura 5(b)) para los datos empíricos de *Twitter* e índices financieros. En estas mismas figuras se muestra la media y desviación estándar de una simulación numérica de 10,000 miembros de *WE*, donde de nuevo cada punto se calcula teniendo en cuenta los 80 días de transacción anteriores. Se puede ver en la figura 5(a) que ambos resultados empíricos presentan un comportamiento suave y fluctúan alrededor del límite inferior como es de esperarse, cayendo en la región de los resultados numéricos, lo cual confirma que cada uno de los indicadores financieros involucrados participa significativamente en V_k , y como consecuencia todos los índices se mueven como uno solo en este eigenmodo. Es interesante observar que esta misma característica emerge cuando trabajamos con las polaridades. Para este caso se ha encontrado un $Pc = 0.6$ entre ambos comportamientos empíricos.

Figura 5. *IPR* para *Twitter* e índices financieros.

Notas: (a) Comportamiento temporal de *IPR* correspondiente a los eigenvalores más grandes. (b) Comportamiento temporal de *IPR* para el eigenvalor más pequeño. La línea azul representa los resultados para los retornos, la línea verde para polaridades, y la línea negra el límite inferior $1/N$. Además, la línea gris representa la media y la desviación estándar de los resultados de la simulación numérica de 10,000 miembros de *WE*.

Fuente: Elaboración propia.

Si ahora fijamos nuestra atención en la figura 5(b), podemos observar que el IPR_1 se comporta de manera bastante diferente en ambos datos empíricos. Los resultados para retornos se mantienen fluctuando más de tres desviaciones estándar sobre lo esperado para los resultados numéricos, mientras que los resultados de polaridad se encuentran lejos de los valores numéricos la mayor parte del tiempo, aunque hay períodos en que caen dentro de los valores de la simulación. Esto último podría implicar la presencia de ruido en la adquisición de los datos de polaridad, principalmente al comienzo del periodo de estudio. Sin embargo, incluso así se presenta una correlación positiva entre el comportamiento temporal de los datos empíricos, con un $P_c = 0.49$.

Conclusión

Se logró extraer información de *Twitter* mediante el ensamblaje de distintos lenguajes de programación, cuantificando su contenido mediante técnicas de análisis de sentimiento. Donde las técnicas matemáticas provenientes de la física estadística mostraron que los datos extraídos de estas fuentes contienen información relevante para el análisis de los índices financieros globales estudiados aquí.

Mediante el análisis de RMT, se ha encontrado que los datos de *Twitter* comparten la misma estructura de correlaciones encontrada para los datos de retorno asociados con cada periodo de estudio. Asimismo, se han encontrado desvia-

ciones largas de los eigenvalores, más allá de los límites predichos por la ley de Marcenko-Pastur, lo cual nos dice que existen correlaciones verdaderas entre los índices financieros y las polaridades. Por lo cual el hecho de que en este momento no seamos capaces de generar estrategias de compra en las bolsas de valores o de prevenir posibles crisis financieras a partir de la información textual, no imposibilita que en un futuro podamos hacerlo.

Asimismo, el estudio de RMT ha permitido observar una correlación moderada entre los comportamientos temporales de los eigenvalores extremos de las polaridades y retornos en ambos periodos de estudio. Esto implica que la información colectiva de los índices financieros globales emerge también al analizar las polaridades, y, por lo tanto, el portafolio de inversión óptimo o más diversificado es preservado al utilizar este tipo de información. Además, se encontró que los valores de IPR_N fluctúan cerca del límite inferior $1/N$, mientras que para IPR_1 se obtuvieron los valores más altos como es de esperarse para el caso del portafolio más y menos diversificado, respectivamente. Es notable observar que esta característica surge cuando trabajamos con las polaridades. Ello implica que la estructura de las correlaciones globales puede ser preservada independientemente de si estamos trabajando con las fuentes de *Twitter* o la información financiera (retornos). Este conjunto de resultados obtenidos por medio de RMT sugiere que los retornos y polaridades comparten una estructura de correlaciones común para los países y períodos de tiempo estudiados aquí.

En suma, estos nuevos resultados apoyan el paradigma de la economía conductual, es decir, de que las decisiones de los inversionistas se ven influenciados por la información de los medios de comunicación y redes sociales (*Twitter*) lo cual influye para generar juicios o estrategias precipitadas de comercio en el mercado de valores, influyendo finalmente estas decisiones en el precio final de las acciones. **Id**

Referencias

- [1]. García, A. «Global financial indices and twitter sentiment: A random matrix theory approach.» *Physica A*, 461, 509, 2016.
- [2]. Mantenga, R. N. y H. E. Stanley. *An introduction to econophysics: Correlations and complexity in finance*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000.
- [3]. Bouchaud, J. P. y M. Potters. *Theory of financial risks: From statistical physics to risk management*. Cambridge University Press, Cambridge, 2000.
- [4]. Voit, J. *The statistical mechanics of financial markets*. Berlín: Springer-Verlag, 2005.
- [5]. Markowitz, H. *Portfolio selection: Eficient diversification of investment*. Nueva York: John Wiley & Sons, 1959.

- [6]. Wishart, J. En *Biometrika*, 20A, 1928, 32.
- [7]. Wigner, E. En *Ann. Math.*, 1955, 548.
- [8]. Mehta, M. L. *Random matrices and the statistical theory of energy levels*. Nueva York: Academic Press, 1967.
- [9]. Brody, T. A., J. Flores, J. B. French, P. A. Mello, A. Pandey S. S. M. y Wong. En *Rev. Mod. Phys.*, 53, 1981, 385.
- [10]. Guhr, T., A. Muller-Groeling y H. A. Weidenmuller. En *Phys. Rep.*, 299, 1998, 189.
- [11]. Plerou, V., P. Gopikrishnan, B. Rosenow, L. A. Nunes Amaral y H. E. Stanley. En *Phys. Rev. Lett.*, 83 1999, 1471.
- [12]. Laloux, L., P. Cizeau, J. P. Bouchaud y M. Potters. En *Phys. Rev. Lett.*, 83 1999, 1467.
- [13]. Plerou, V., P. Gopikrishnan, B. Rosenow, L. A. N. Amaral y H. E. Stanley. En *Physica A*, 287, 2000, 374.
- [14]. Plerou, V., P. Gopikrishnan, B. Rosenow, L. A. N. Amaral, T. Guhr y H. E. Stanley. En *Phys. Rev. E*, 2002, 066126.
- [15]. Potters, M., J.-P. Bouchaud y L. Laloux. En *Acta. Phys. Pol. B*, 36, 2005, 2767.
- [16]. Medina, L. y R. Mansilla. En *J. Manag., Finance and Econ.*, 2, 2008, 125.
- [17]. Munnix, M. C., R. Schafer y T. Guhr. En *Physica A*, 389, 2010, 76.
- [18]. Zhang, X., H. Fuehres y P. A. Gloor. En *Procedia Soc. Behav. Sci.*, 26, 2010, 55.
- [19]. Bollen, J., H. Mao y X. Zeng. En *J. Comput. Phys.*, 2, 2011, 1.
- [20]. Smailovic, Jasmina , Miha Grčar, Nada Lavrac y Martin Znidarsic. *Human-computer interaction and knowledge discovery in complex, unstructured, big data*, vol. 7947 of the series *Lecture notes in computer science*. Berlín Heidelberg: Springer-Verlag, 2013, 77.
- [21]. Oliveira, Nuno, Paulo Cortez y Nelson Areal. *Progress in artificial intelligence*, vol. 8154 of the series *Lecture notes in computer science*. Berlín Heidelberg: Springer-Verlag, 2013, 355.
- [22]. Preis, T., H. S. Moat y H. E. Stanley. En *Sci. Rep.*, 3, 2013, 1684.
- [23]. Alanyali, M., H. S. Moat y T. Preis. En *Sci. Rep.*, 3, 2013, 3578.
- [24]. Zheludev, I., R. Smith y T. Aste. En *Sci. Rep.*, 4. 2014, 4213.
- [25]. Plakandaras, Vasilios, Theophilos Papadimitriou, Periklis Gogas y Konstantinos Diamantaras. En *Algorithmic Finance*, 4, 2015, 69.
- [26]. Barberis, Nicholas. *Handbook of the economics of finance*. North Holland: Elsevier Science B.V., 2003, 1051.
- [27]. Sandoval, L. Jr., I. D. P. Franca. En *Physica A*, 391, 2012, 187.
- [28]. Pang, B. y L. L. Found. En *Trends. Network*, 2, 1986, 1.
- [29]. Jurafsky, D. y J. H. Martin. *Speech and language processing: An introduction to natural language processing, computational linguistics and speech recognition*. Englewood Cliffs NJ Prentice-Hall, 2000.

- [30]. Marcenko, V. A. y L. A. Pastur. En *Sb. Math.*, 72, 1967, 507.
- [31]. Laloux, L., P. Cizeau, J. P. Bouchaud y M. Potters. En *Int. J. Theor. Appl. Finance*, 3, 2000, 391.
- [32]. Rosenow, B., V. Plerou, P. Gopikrishnan y H.E. Stanley. En *Europhys. Lett.*, 59, 2002, 500.
- [33]. Sandoval, L., A. B. Bortoluzzo y M. K. Venezuela. En *Physica A*, 410, 2014, 94.
- [34]. J. P. Bouchaud, J. P y M. Potters. «Financial applications of random matrix theory: A short review.» En Por Gemot Akemann, Jinho Balk y Philippe Di Francesco (eds.), *The Oxford handbook of random matrix theory*. Oxford: Oxford University Press, 2011, cap. 40, 824.
- [35]. Clark, T. B. P. y A. Del Maestro. En *arXiv*, 2015, arXiv: 1506.02048.
- [36]. Bell, R. J. y P. Dean. En *Discuss. Faraday Soc.*, 50 (1970), 55.
- [37]. Visscher, W. M. En *J. Non-Cryst. Solids*, 477, 1972, 8.

Ricardo Mansilla Corona*

Los orígenes interdisciplinarios de las finanzas

Prediction is very difficult, especially about the future.

N. Bohr

Resumen | El notable interés que la comunidad científica ha brindado al concepto de interdisciplina en las últimas décadas parece sugerir que este tipo de estudios son un paradigma reciente en los métodos de la investigación científica. El objetivo de este trabajo es brindar una minuciosa crónica de los encuentros y colisiones a partir de los cuales se formó la teoría económica de los mercados. Hacemos énfasis en los aspectos cuantitativos de esta saga, la cual estuvo dominada por la influencia de notables físicos y matemáticos desde mediados del siglo XVII hasta nuestros días.

41

The interdisciplinary origins of finance

Abstract | The remarkable interest that the scientific community has given to the concept of interdiscipline in the last decades seems to suggest that this type of studies is a recent paradigm in the methods of scientific research. The objective of this work is to provide a detailed chronicle of the encounters and collisions from which the economic theory of the markets was formed. We emphasize the quantitative aspects of this saga, which was dominated by the influence of notable physicists and mathematicians from the middle of the seventeenth century to the present day.

Palabras clave | interdisciplina, mercados, econofísica

Key Words | interdiscipline, markets, econophysics

UNA DE LAS FUNCIONES de la ciencia es generar conocimiento que permita predecir el comportamiento futuro de las magnitudes bajo estudio. En las finanzas, tal

Recibido: 30 de mayo de 2017. Aceptado: 20 de junio de 2017.

* Investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades–UNAM. Dr. en Matemáticas, Universidad de La Habana. Maestro en ciencias económicas, Universidad de Carleton, Canadá. **Correo-e:** mansy@unam.mx

vez las magnitudes que con más afán se han intentado predecir son los precios futuros de los activos financieros, “un tema que sigue siendo de interés, que se debate y discute en artículos científicos, conferencias y cocteles” (Campbell, Lo, MacKinlay 1997, 27).¹

Los intentos teóricos por explicar la dinámica de los mercados y el comportamiento de los precios en los mismos datan del siglo XVII con la publicación en 1688 por José de la Vega del libro *Confusión de confusiones*.² De la Vega era un especulador en el mercado de Amsterdam, proveniente de una familia de judíos españoles.³ Su libro está dividido en cuatro diálogos. En el primero se discuten los diferentes tipos de contratos que se negociaban en las bolsas europeas, en particular en la de Amsterdam.⁴ En el segundo, se debaten los orígenes de las variaciones de precios de los activos mientras que en el tercero se enjuician las prácticas de los agentes de mercado y los diferentes tipos de contratos permitidos. En el último diálogo se hace una discusión ética del comportamiento de los *liefhebeeren y contraminores*, agentes de mercado que especulan con las alzas y las bajas de precios, respectivamente.

En la obra de De la Vega no hay ningún intento de utilización de técnicas matemáticas para la discusión de los temas tratados. Vale señalar aquí, que la primera tentativa de usar la teoría de las probabilidades en la solución de un problema relacionado con los mercados debió esperar 50 años más, siendo formulado y resuelto por dos miembros de una de las más famosas familias de científicos de todos los tiempos: los Bernoulli. El problema en cuestión estaba dirigido a valorar uno de los ingredientes más ubicuos e intangibles de los mercados: el riesgo.⁵ En una carta del 9 de septiembre de 1713 de N. Bernoulli a P. de Montmort, el remitente le planteaba a su amigo el problema que sigue: Supongamos que se lanza repetidamente una moneda sin sesgo. Si en el primer lanzamiento aparece “cara”, se le ofrece al participante \$2. Si es en la segunda tirada cuando aparece “cara” por primera vez, se le ofrece al jugador \$4. En general, si es en la n -ésima tirada que aparece “cara” por primera vez, se le ofrece al participante $\$2^n$. Se desea saber cuánto estaría dispuesta a pagar una persona

1 La traducción es responsabilidad del autor de este artículo.

2 El título completo de la obra era: *Confusión de confusiones: Diálogos curiosos entre un filósofo agudo, un mercader discreto y un accionista erudito, describiendo el negocio de las acciones, su origen, su etimología, su realidad, su juego y su enredo*. Así de fácil de recordar.

3 Al lector interesado en la agitada vida del Sr. De la Vega se le recomienda (Szpiro 2011, 12-14) y las citas que de allí provienen.

4 En este diálogo De la Vega discute las llamadas oopsies (del latín *optio*) que son el origen de los modernos contratos de opciones.

5 Sobre esto siempre ha habido opiniones divididas. Warren Buffet, uno de los inversionistas más exitosos de todos los tiempos, suele decir: “*Risk comes from not knowing what you're doing*”.

por participar en el juego. Las tiradas consecutivas son obviamente independientes entre sí.

Denotemos por x una variable aleatoria que representa la ganancia que ofrece este juego al participante. Nótese que el valor esperado de esta variable aleatoria es:

$$E\{x\} = \left(\frac{1}{2}\right)2 + \left(\frac{1}{2^2}\right)2^2 + \cdots + \left(\frac{1}{2^n}\right)2^n + \cdots = 1 + 1 + \cdots + 1 + \cdots = +\infty$$

Sin embargo, la mayoría de las personas solo están dispuestas a pagar una pequeña cantidad de dinero por participar. ¿Por qué? Porque la obtención de una ganancia grande se percibe cada vez menos probable en la medida en que aumenta la magnitud de la misma. Sin embargo, el pago inicial por participar debe ser abonado sin saber qué ocurrirá. Hay un riesgo de pérdida inherente en la operación.

Para resolver esta paradoja D. Bernoulli decidió reemplazar el concepto matemático de valor esperado por el menos formal de *utilidad*. Este último, intenta medir la significación que tiene una particular situación (por ejemplo, el desenlace del juego anterior) para un individuo específico. Depende obviamente del valor que le asignemos a un evento. Es por ello que la utilidad que diferentes personas le asignan a un mismo suceso puede diferir entre ellos.

Si bien no parecía una buena idea prescindir del claro y riguroso concepto de valor esperado a favor del concepto de utilidad, Bernoulli logró hacer una observación muy profunda acerca de este último. En su trabajo (Bernoulli 1738) escribió: "la utilidad resultante de un pequeño incremento en la riqueza es inversamente proporcional a la cantidad de bienes que previamente se poseen".⁶ Esta observación de D. Bernoulli es la que finalmente resuelve la paradoja de San Petersburgo (así se conoce este problema). Mientras más avanza el juego mayor es la cantidad que ganará el participante. Pero una vez alcanzado un estadio en el cual la ganancia mínima del jugador representa una cantidad respetable desde su punto de vista, el atractivo de ganar más empieza a declinar. Eso determina cuál es la cantidad que está dispuesto a pagar por participar en el juego.⁷

Si elegimos una persona al azar y hacemos una asociación entre ciertas cantidades de dinero y la utilidad que estas le brindan, habremos construido la *función de utilidad* de este jugador. Si la observación de Bernoulli es cierta, esta función debe ser cóncava.

⁶ El trabajo original de D. Bernoulli fue publicado en latín, la traducción de la frase anterior fue hecha por el autor de estas líneas a partir de la versión en inglés del texto original hecha por K. Menger en 1954 para la revista *Econometrika*.

⁷ Al lector interesado se le recomienda (Devlin 2008, 118-124).

El concepto de utilidad se encuentra en las bases mismas de la teoría económica de los mercados. Nos muestra que debemos brindarles atención a los incrementos asociados a la riqueza de los agentes económicos. Es por ello que desde los primeros intentos de sistematización de los conocimientos sobre los mercados buena parte de los estudios estuvieron dirigidos a las variaciones de precios más que a los precios mismos.⁸ Como esas variaciones parecían manifestarse de manera aleatoria es natural que surgieran estudios que le apostaran a la teoría de las probabilidades como herramienta básica en la comprensión de estos fenómenos complejos.

La primera tentativa de este tipo ocurre más de un siglo después, en 1863, con el libro de Jules Regnault, *Calcul des chances et philosophie de la bourse*. Hijo de un oficial de aduanas, Regnault comenzó a trabajar en la Bolsa de París en el año 1862.⁹ Esta fue una época de mucha turbulencia en el mercado francés y el tema de las fluctuaciones de los precios de los activos en los mercados se discutía frecuentemente en la prensa, en el parlamento y en conferencias especializadas. Un año después de su entrada a la Bolsa de París, Regnault publicó su libro (Regnault 1863),¹⁰ el cual no tuvo una buena acogida. Una de sus pocas citas es debida a John Maynard Keynes.

Entre las novedosas ideas que introdujo Regnault en su obra está el uso de la teoría de las probabilidades en el estudio de los movimientos de los precios. Observando las diferencias de precios de los activos a su alcance, asumió que la probabilidad de una subida de precios era igual a la probabilidad de una caída de igual magnitud y de aquí concluyó que en el largo plazo ningún agente de mercado podía alcanzar ganancias sustantivas, lo cual sin duda constituye una especie de hipótesis de mercado eficiente simplificada.¹¹ No es de extrañar que Regnault albergara tales puntos de vista. Él sostenía que los precios conte-

8 Como veremos más adelante, esta tendencia se vio justificada por la utilización de la Ley de Weber–Fench, que relaciona la magnitud de un estímulo con la respuesta al mismo. Ver por ejemplo (Masin *et al.* 2009).

9 Como dato curioso queremos comentar que Jules Regnault quedó huérfano a los 12 años y que su hermano mayor, Odilon, exentó el cumplimiento del servicio militar por esa razón, apoyándose además para que tomara cursos de ciencias en la Universidad Libre de Bruselas. No existe, sin embargo, ningún indicio documental de que Jules haya estudiado en ninguna universidad belga (Jovanovic 2004). No obstante, la influencia de los trabajos de A. Quetelet en su obra es reconocida por el propio Regnault.

10 Cómo se las arregló Regnault para escribir su notable tratado de 50,000 palabras, en el cual desarrollaba una teoría de los mercados que presagiaba los Premios Nobel de Economía del siglo siguiente, un año después de entrar a trabajar en la Bolsa de París, es un asunto que sigue envuelto en el misterio.

11 No obstante, a pesar de sus creencias murió siendo poseedor de la enorme fortuna de 1,000,000 de francos de la época.

nían toda la información disponible en el mercado relevante para la formación de estos.¹²

Pero su contribución más importante está relacionada con las escalas temporales en que los precios fluctúan. Haciendo uso de datos diarios de los activos que se negociaban en la bolsa en el periodo comprendido entre 1825 a 1862 estudió la relación entre los rendimientos obtenidos y el intervalo de tiempo que el activo correspondiente había sido conservado por sus propietarios desde la compra a la venta. La magnitud que decidió utilizar para medir los rendimientos fueron las desviaciones (*écart*s) alrededor de la media, la cual él suponía igual a cero, dado que no podía haber ganancias en el largo plazo. La relación que encontró lo sorprendió según puede apreciarse en sus propias palabras: "Por primera vez nosotros formulamos aquí una ley matemática que nadie hubiera esperado hasta ahora: las diferencias de precios de un activo son proporcionales a la raíz cuadrada del tiempo transcurrido".¹³ Si bien en su frase original habla de "diferencias" lo que realmente calculó fue la desviación estándar de las diferencias.¹⁴ Después utilizó ese hallazgo teórico para calcular el precio del bono perpetuo de 3% de interés conocido como *renté*.¹⁵ A pesar de no disponer de computadoras utilizó 11,000 valores de este bono en sus cálculos (Szpiro 2011, 50-52).

Un lector atento habrá notado que la propiedad observada por Regnault es propia de las caminatas aleatorias gaussianas. Él mismo había sugerido que la normal era la verdadera distribución de los *écart*s en los datos que poseía. Es razonable que hiciera esa afirmación. Toda su educación matemática provenía de cursos elaborados por A. Quetelet, quien había trabajado con P. Laplace en París. Como es conocido Laplace es uno de los descubridores de la distribución normal. De hecho, Quetelet la conocía y sugirió usarla para el estudio de fenómenos sociales.¹⁶

La distribución estadística de las diferencias de precios en los mercados ha sido un tema recurrente de investigación. En Jovanovic y Le Gal (2001) se afirma que el uso de la ley normal en el trabajo de J. Regnault está basado solamente

12 Ver (Szpiro 2011, 40).

13 La traducción es responsabilidad del autor de este artículo. Ver (Szpiro 2011, 44).

14 "...d'après une formule importante que nous ne pouvons qu'indiquer ici...". Ver (Szpiro 2011, 52).

15 Un bono emitido por el gobierno francés en 1825 para indemnizar a la nobleza y a todos los que habían perdido propiedades durante la Revolución. Para 1862 existía un mercado muy fuerte de estos bonos.

16 Quetelet creía que los hombres debían comportarse según la distribución normal, de manera que comportamientos en las "colas" de la misma debían ser castigados o reprimidos. Esta idea está muy bien documentada en sus trabajos sobre ciencias sociales.

en la observación de este último de la forma acampanada de la distribución, sin que mediara ninguna prueba estadística que validara su afirmación.

Como puede verse, los trabajos antes mencionados se dirigían a la descripción estadística de las diferencias de precios, sin pretender establecer un mecanismo que fuese el origen de tales comportamientos. Un paso fundamental en el estudio de este importante problema lo dio el joven de origen francés L. Bachelier. Nacido en Le Havre en 1870 en el seno de una familia acomodada, quedó huérfano de ambos padres a la edad de 19 años, lo cual le obligó a abandonar sus estudios. Después de concluir su servicio militar, ingresó a trabajar en la Bolsa de París en 1892. Ocho años más tarde, el 29 de marzo de 1900, defendió su tesis de doctorado en matemáticas bajo la dirección de H. Poincaré.¹⁷ El título de la misma era *La teoría de la especulación*, algo poco frecuente entre los aspirantes a ese grado académico en aquella época.¹⁸

Bachelier había tomado clases en la Sorbona con P. Appell, E. Picard, J. Bousinesq y el propio H. Poincaré, lo cual le había brindado una sólida formación matemática. Era un requisito en la Sorbona en aquella época, que los aspirantes defendieran una segunda tesis. El tema elegido por Bachelier fue la dinámica de fluidos. Sobre este trabajo, P. Appell, quien también fue miembro de su jurado expresó: "...el candidato Bachelier muestra un buen dominio de la teoría del movimiento de esferas en un fluido".¹⁹

A pesar de que el tema elegido por Bachelier era algo singular, Poincaré tenía en alta estima su trabajo. En lo referente a la derivación de la Ley de Gauss para los precios y la comparación hecha por Bachelier del movimiento de los mismos con la difusión del calor, Poincaré los calificó de "muy original". Respecto al último problema atacado por Bachelier en su tesis, a saber, ¿cuál es la probabilidad de que el precio de un activo alcance un valor predeterminado antes de una fecha prefijada?, Poincaré escribió en el reporte de la tesis: "parece insoluble". Después tachó la palabra *insoluble* y escribió "parece conducir en una primera mirada a cálculos muy complicados". A continuación expresó "el autor consigue resolver el problema por medio de un razonamiento corto, simple y elegante".²⁰ Finalmente recomendó la publicación de la tesis en una respetada revista francesa.²¹ Es así como la obra de este pionero llegó a nuestros días.

17 Ha habido una larga discusión sobre la certeza de este dato. Al lector interesado se le sugiere las siguientes fuentes: (Mandelbrot 2004, 42 y todas las citas que provienen de allí), (Courtault, 2000, 341-353), (Weatherall 2013, 9) y (Alexander 1961, 8).

18 H. Poincaré escribió en el acta de la defensa de la tesis: "*Le sujet choisi par M. Bachelier s'éloigne un peu de ceux qui sont habituellement traités par nos candidats*".

19 La traducción es responsabilidad del autor de este libro. Ver (Szpiro, 2011, 74).

20 La traducción es responsabilidad del autor de este artículo. Ver (Szpiro 2011, 76).

21 La tesis se publicó en *Annales Scientifiques de l'École Normale Supérieure*, 1900: 21-86.

Bachelier postuló que los precios tenían una distribución normal.²² Existen varios hechos que excusan la aparente ligereza de Bachelier en admitir esta hipótesis. En primer lugar, si los movimientos de los precios se describen por una ecuación similar a la de conducción del calor, según la analogía propuesta en su tesis, la desviación estándar de los mismos σ debe satisfacer la relación siguiente:

$$\sigma \sim \sqrt{t}$$

Obsérvese que Regnault había hecho una afirmación parecida 37 años antes en su libro. Como se sabe (y con toda certeza, Bachelier estaba al tanto de ello) esta es una propiedad de las caminatas aleatorias gaussianas.

En segundo lugar, Bachelier, al igual que Regnault, debió calcular sus distribuciones empíricas manualmente, haciendo uso de datos diarios, sin el auxilio de ningún instrumento de cómputo. Por tanto, habiendo observado una curva acampanada, con colas que caían rápidamente, resulta entendible su afirmación de que los precios seguían una distribución normal.

En tercer lugar y no menos importante, admitir que los precios distribuían según la normal, abría la posibilidad de usar toda la bien aceitada maquinaria teórica, *terra cognita*, al decir de Mandelbrot (2004, 53) desarrollada durante más de 150 años acerca de esta distribución estadística.

El trabajo de Bachelier no fue muy reconocido en su época. Afortunadamente, P. Samuelson lo “descubrió” en 1955, haciéndolo lectura obligada para sus alumnos e insertándolo así en la corriente principal de las ciencias económicas modernas.²³ Paul Samuelson puede ser comparado con Galileo en su afán por

22 Este es sin duda un error notable en la tesis de Bachelier, del cual dieron cuenta en su momento M. F. M. Osborne y P. Samuelson. Cuando Osborne intentó reproducir las distribuciones empíricas de los precios, encontró que los mismos no seguían una distribución normal, sino más bien lognormal. Osborne argumentó a favor de Bachelier que este último había trabajado con un tipo especial de activo financiero, los *rentés*, cuyo precio variaba muy lentamente y por una cantidad muy pequeña. Samuelson calificó esta afirmación de Bachelier de absurda. Ver (Weatherall 2013, 35 y 206) y (Osborne 1959, 146).

23 En vida, Bachelier recibió muy poco reconocimiento por su trabajo. Más aún, fue perjudicado en más de una ocasión por la incomprendición de sus colegas. En 1926, aplicó para una plaza de profesor en la Universidad de Dijon. Uno de sus dictaminadores, M. Gevrey creyó encontrar un error en uno de sus trabajos y le envió el mismo a P. Levy, por entonces una autoridad en la teoría de las probabilidades en Francia. Levy hace una lectura superficial del trabajo y las descuidadas notaciones de Bachelier lo confunden y confirma un error inexistente. Años más tarde, leyendo un trabajo de A. Kolmogorov comprende que cometió un error con Bachelier. En su trabajo Kolmogorov comentaba positivamente la contribución de Bachelier: “...hasta donde conozco, Bachelier fue el primero en hacer un estudio sistemático de este tema...”, aunque más adelante admite: “...sin embargo su construcción es poco rigurosa”. Finalmente, Levy le envía una carta de disculpas a Bachelier. Pero el daño

utilizar matemáticas de alto nivel para estudiar los fenómenos de su interés. Nacido en 1915, de una familia judía de Indiana, fue testigo de primera mano de la Gran Depresión, pero la posición social de su familia le permitió escapar de las penurias de aquel tormentoso periodo. Se graduó de la Universidad de Chicago a los 20 años y se marchó a Harvard por un doctorado.

Allí comenzó a interesarse por la termodinámica de W. J. Gibbs. Este último había tenido un alumno muy destacado, E. B. Wilson, profesor de estadística de Samuelson durante sus estudios de doctorado. De esta forma, las ideas de Gibbs entraron en el trabajo doctoral de Samuelson.²⁴ Al recibir el Premio Nobel de Economía en 1970, A. Lindbeck en el laudo sobre su obra afirmaba: “más que cualquier economista contemporáneo, ha contribuido a elevar el nivel analítico y metodológico general de las ciencias económicas”.

Samuelson tiene noticias del trabajo de Bachelier por primera vez a mediados de los años cincuenta del siglo pasado. Su colega L. Savage, un estadístico de Yale le preguntó si conocía la obra del francés. Samuelson encontró una copia de la tesis doctoral de Bachelier en la biblioteca del MIT, universidad donde trabajaba desde hacía algunos años.²⁵

La lectura de la tesis de Bachelier impresionó a Samuelson. No obstante, reconoció las limitaciones del trabajo del francés, en particular su suposición de que los precios distribuían normal. Entendió que tal cosa estaba en contradicción con el concepto de *responsabilidad limitada*, esto es, la afirmación de que los precios no pueden ser nunca negativos (Campbell, Lo, MacKinlay 1997, 32).

Si bien la argumentación de Samuelson en contra de la hipótesis de normalidad de los precios propuesta por Bachelier estaba basada en argumentos económicos, no fue este el primero en comprender la inviabilidad del modelo del francés. Fue un físico de altas energías del Laboratorio de Investigaciones Navales de la Marina de los EEUU, llamado Matthew Fontaine Maury Osborne, quien en realidad dio cuentas de la inconsistencia por primera vez. Nacido en 1916, manifestó desde temprana edad una notable precocidad e independencia en sus

ya estaba hecho. La plaza de la Universidad de Dijon había sido otorgada a G. Cerf. Ver (Szpiro 2011, 76-77).

24 P. Samuelson puede ser considerado como uno de los primeros contribuyentes de la econofísica. En el año 1989 se celebró en la Universidad de Yale un evento titulado *El Simposio de Gibbs*. En el mismo, Samuelson presentó un trabajo donde fundamentaba la influencia del trabajo de Gibbs en la economía, más precisamente cómo la termodinámica desarrollada por Gibbs impactaba la teoría económica. El trabajo se publicó en los *Proceedings of the American Mathematical Society*, ver (Samuelson 1989).

25 P. Samuelson no pudo ingresar al Departamento de Economía de Harvard debido a las posiciones antisemitas del entonces jefe de la entidad, J. Burbanks. Este último impidió la entrada de P. Samuelson a pesar de que era apoyado por el destacado economista austriaco J. Schumpeter, a la sazón, emigrado en EEUU desde la Alemania nazi.

temas de investigación. Esta característica suya le trajo en particular algunos problemas en la obtención de su doctorado en física, lo cual ocurrió en 1959.²⁶

Su trabajo en finanzas fue revolucionario y de una profunda esencia interdisciplinaria. Aplicó sus amplios conocimientos de física a la construcción de un modelo para el comportamiento de los precios en los mercados. Inicialmente M. F. M. Osborne intentó verificar los resultados de Bachelier acerca de la normalidad de los precios sin éxito. Sin embargo, las distribuciones empíricas por él construidas sugerían que la correcta distribución parecía ser lognormal.²⁷ Debería existir según Osborne, una explicación para este hallazgo en las raíces mismas del comportamiento de los agentes de mercado. En alguno de sus múltiples proyectos interdisciplinarios anteriores había entrado en contacto con la Ley de Weber-Fechner²⁸ que establece una relación cuantitativa entre el estímulo recibido y la respuesta que un ser humano ofrece al mismo.²⁹ Creyó que este resultado teórico describía muy bien la situación de los agentes en los mercados.³⁰ Así, postuló que la distribución de los precios debería ser lognormal (Osborne 1959). En cierto sentido, el hallazgo de D. Bernoulli dos siglos antes respecto al concepto de utilidad reflejaba también un comportamiento similar al reportado por Weber y Fechner (Szpiro 2011, 189).

Osborne fue la primera persona que estudió las propiedades estadísticas de los volúmenes de las transacciones financieras, observando que su magnitud era un aspecto relevante en la formación de los precios.³¹ Sin embargo, también carecía de adecuados instrumentos de cómputo. Por ello, en su trabajo no aparece ninguna referencia a las casi imperceptibles desavenencias que se observan entre las colas derechas de la distribución empírica y teórica de su modelo logarítmico de los precios.

La irrupción de las computadoras en esta área de las ciencias económicas llegó de la mano de uno de los matemáticos más controvertidos del siglo xx,

26 Su primer proyecto de doctorado fue en astronomía, presentado al Departamento de Física de la Universidad de Maryland, el cual fue rechazado por “poco original”. El segundo proyecto era sobre finanzas, presentado a la misma universidad, rechazado esta vez porque “eso” no era física. Finalmente, defendió su doctorado con una tesis sobre la eficiencia migratoria de los salmones.

27 Se dice que una variable aleatoria distribuye lognormal si su logaritmo distribuye normal.

28 La ley de Weber-Fechner establece una relación logarítmica entre la magnitud de un estímulo y su respuesta. Ver por ejemplo (Heidelberger 2004).

29 Existe una pintoresca frase del dictador J. Stalin que captura sin dudas la esencia de la ley de Weber-Fechner: “Un hombre muerto es una tragedia, un millón de hombres muertos es una estadística”.

30 En su trabajo (Osborne 1959) expresó “El estímulo del precio en dólares y la sensación subjetiva de valor en la mente del inversionista están relacionadas de acuerdo con la Ley de Weber-Fechner”. La traducción es responsabilidad del autor de este artículo.

31 Ver (Osborne 1962).

cuya contribución a las finanzas sigue siendo innovadora y polémica: B. B. Mandelbrot.

Todo en la vida de Mandelbrot parece sacado de una novela. Nacido en Varsovia el 20 de noviembre de 1924, se trasladó con sus padres a Francia en 1936. Deja París en 1939, meses antes de la invasión alemana, y se marcha al sur del país. Allí permanece escondido hasta 1943, donde sus amigos de la Resistencia Francesa lo envían a Lyon para salvarlo de la persecución de los nazis. Regresa a París en 1944 después de la liberación y es admitido en una de las más prestigiosas escuelas preparatorias de la ciudad. Hace los exámenes de ingreso para las *grandes écoles* y termina ingresando a la École Polytechnique con la intención de estudiar matemáticas.

Su tío, Szolem Mandelbrot, era un distinguido matemático que sustituyó a J. Hadamard como profesor en el Collège de France, llegando a ser además miembro del prestigioso grupo Bourbaki. Al conocer la noticia de la decisión académica de su sobrino se sintió muy feliz. Pero a medida que los intereses geométricos de Benoit, totalmente en conflicto con el rigor bourbakiano de la época comenzaron a hacerse visibles, perdió toda esperanza de encarrilar a su díscolo sobrino. Cuenta la historia que un día mientras oía las descabelladas ideas de Benoit para su tesis de doctorado, sacó de la basura un panfleto y se lo arrojó a su sobrino, sugiriendo que ese era el tipo de cosas a las que debería dedicarse. Se trataba de un ensayo sobre el libro de G. K. Zipf, *Human behaviour and the principle of least-effort*, recién publicado por entonces. Benoit terminó trabajando en ese tema de frontera entre la lingüística, la economía y otras ramas del saber.

Se doctoró en matemáticas en el año 1952. Posteriormente, se fue al MIT y luego al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, donde fue el último estudiante de postdoctorado a cargo de J. von Neumann. Después de una búsqueda infructuosa de una posición académica aceptó una oferta de IBM Research.

Uno de los objetivos del Thomas Watson Research Center de la IBM era encontrar aplicaciones para sus nuevas computadoras. De esta manera, Mandelbrot fue asignado al área de aplicaciones económicas, donde se interesó por la distribución de los ingresos en una población. Este tipo de distribución, estudiada inicialmente por W. Pareto, guardaba cierta relación con su trabajo doctoral sobre la distribución de Zipf, sugerido por el iluminador panfleto arrojado a sus pies años atrás por su tío Szolem.

A pesar de la orientación del trabajo de Mandelbrot en IBM, sus resultados seguían siendo de interés en el ámbito académico. Así, en 1961, Mandelbrot fue invitado a dar una conferencia en el Departamento de Economía de la Universidad de Harvard sobre su trabajo acerca de la distribución de la riqueza en una población. Su anfitrión fue el economista H. Houthakker. Al entrar a la oficina

del mismo, Mandelbrot observó en el pizarrón algunos gráficos muy similares a los que él mismo iba a usar en su próxima presentación. Intrigado por su origen, le preguntó a su anfitrión sobre qué trataba su investigación, siendo informado por este de que se trataba de los rendimientos diarios de los precios del algodón, por aquel entonces un mercado aun sensiblemente especulativo.³² Houthakker conocía los trabajos de Bachelier y Osborne e intentaba verificar la hipótesis de la caminata aleatoria sobre los precios del algodón, pero los datos no parecían acomodarse al antes mencionado postulado. Mandelbrot le pidió a Houthakker compartir sus datos y de regreso a IBM comenzó a trabajar con ellos. Verificó que efectivamente su colega tenía razón: las diferencias de precios no se ajustaban a una distribución normal. Tenían las colas de la distribución más *gruesas*³³ de lo debido. Afortunadamente, Mandelbrot había sido alumno de P. Levy y conocía bien su obra, en particular sus trabajos sobre distribuciones con colas eventualmente más gruesas que la normal. Entre ellas existe una clase muy amplia llamadas *distribuciones estables*³⁴ (de la cual la misma distribución normal es un miembro) que jugaron un papel muy importante en su contribución al estudio de este problema.

32 En realidad, la especulación con los precios del algodón había empezado a disminuir a partir de una resolución del Congreso de EEUU del año 1958.

33 Existe un bonito resultado en la teoría de las probabilidades debido a P. Chebyshev que puede expresarse como sigue:

Sea x una variable aleatoria y sean $\mu = \mathbb{E}\{x\}$, $\sigma^2 = \text{Var}\{x\}$ la media y la varianza de esta variable aleatoria, respectivamente. Entonces, para todo $\varepsilon > 0$:

$$\mathbb{P}\{r\{|x - \mu| \geq \varepsilon\} \leq \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2}$$

Nótese que este resultado implica que una variable aleatoria *no puede estar mucho tiempo lejos de su media*, más precisamente, las probabilidades de tomar valores alejados de la media son muy pequeños. En general, las zonas alejadas de la media se conocen como las colas de la distribución. El área de las colas de una distribución normal es en comparación con otras distribuciones muy pequeña debido al carácter exponencial de esta distribución. Se dice que las colas de una distribución son *gruesas* si tiene un área mayor que la que tiene en esa zona la distribución normal. Un ejemplo sencillo de esto es la distribución de Lorenz:

$$p(x) = \frac{1}{\pi(1+x^2)}$$

34 Decimos que una distribución de probabilidad $p(x)$ es *estable* si cualquiera que sea la colección de variables aleatorias independientes con esa función de distribución, la suma tiene una función de distribución similar a $p(x)$. Los parámetros en la función de distribución pueden cambiar, pero la forma será la misma.

Dada la importancia de este concepto en lo que sigue, daremos aquí su definición rigurosa. Sean $\{X_1, \dots, X_n\}$ una colección de variables aleatorias independientes con función de densidad de probabilidades $p_i(x_i)$, $i = 1, \dots, n$. Entonces, la función de densidad de probabilidades de la variable aleatoria $X = X_1 + \dots + X_n$ es:

La idea de Mandelbrot está muy ligada al principio de *autosemejanza* que él estableció para los fractales: Si las distribuciones de las diferencias de precios en los mercados son estables, entonces podemos transitar por las distintas escalas temporales sin tener que hacer cambios en la forma de la función de distribución, eventualmente solo deberemos cambiar los parámetros de las mismas. Esta idea brillante que apareció publicada en *The variation of certain speculative prices* (Mandelbrot, 1963) liberó a la teoría económica de la rígida hipótesis referente a la distribución normal de las diferencias de precios. Mas aún, puso en tela de juicio uno de los principios paradigmáticos de la teoría, a saber, la eficiencia de los mercados. Según Cootner (1964, 333) este trabajo de Mandelbrot forzó a la comunidad científica a enfrentar las incómodas desavenencias entre las distribuciones observadas y teóricas “que existen pocas dudas de que habían sido barridas bajo la alfombra por todos nosotros”. Si bien el trabajo de Mandelbrot no ha sido aceptado de manera unánime por la comunidad científica, es, no obstante, un parteaguas en esta área de investigación, siendo punto de partida de la línea de pensamiento que intenta entender los fenómenos económicos desde la perspectiva de la teoría de los sistemas complejos.

En las últimas décadas hemos sido testigos de una eclosión de estudios sobre los sistemas complejos. Producto del abaratamiento de las computadoras digitales, el espectacular aumento de su velocidad de cálculo, así como del increíble incremento alcanzado en sus posibilidades de almacenamiento de datos, estos dispositivos se han convertido en la herramienta por excelencia según Pagels (1989) para la investigación de fenómenos o modelos de los mismos, cuya complejidad había hecho con anterioridad prohibitivo cualquier intento de indagación a profundidad, reduciendo nuestro conocimiento de ellos a meros esquemas simplificados de su comportamiento.

$$p(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{-\infty}^{+\infty} p_1(x_1) \cdots p_{n-1}(x_{n-1}) p_n(x - x_1 - \cdots - x_{n-1}) dx_1 \cdots dx_{n-1}$$

Supongamos ahora que todas las variables aleatorias de la colección $\{X_1, \dots, X_n\}$ tienen la misma función de densidad de probabilidades, la cual denotaremos por $p_0(x)$. Nótese que esto significa que todas las variables aleatorias de la colección antes mencionada son iguales $X_i = X_0, i = 1, \dots, n$. Decimos entonces que X_0 es estable si:

$$p_0^1(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \cdots \int_{-\infty}^{+\infty} p_0(x_1) \cdots p_0(x - x_1 - \cdots - x_{n-1}) dx_1 \cdots dx_{n-1}$$

donde la función $p_0^1(x)$ es del mismo tipo que $p_0(x)$, es decir, la función de densidad de probabilidades de la suma es la misma que la de cada uno de los sumandos. Eventualmente, los parámetros de $p_0^1(x)$ pueden diferir de los de $p_0(x)$.

Las finanzas son sin duda una de las áreas que más se ha beneficiado de este estado de cosas, pues como hemos discutido con anterioridad, sus estudiosos han sufrido una endémica escasez de datos fidedignos. A pesar de los esfuerzos de Regnault, Bachelier y otros, tanto sus métodos de investigación como las aportaciones teóricas obtenidas se habían visto coartados por la falta de datos precisos del quehacer de los mercados y por la incapacidad de los agentes de examinarlos en su conjunto. Solo para poner en perspectiva esto, en un solo día de funcionamiento de los mercados financieros actuales se recaudan más datos que en varios siglos de actividad económica anterior.

Los propios métodos de la moderna teoría de los sistemas complejos estuvieron desde sus inicios fuertemente comprometidos por la revolución que se gestaba en el campo de la computación digital. Si bien es cierto que científicos de la talla de H. Poincaré vislumbraron hace más de un siglo fenómenos importantes dentro del área de los sistemas complejos (Gray 2013),³⁵ no fue hasta 1963 cuando E. Lorentz ofreció evidencia numérica de la existencia de sistemas caóticos (Lorentz 1963). Muchos científicos tuvieron geniales intuiciones acerca de la complejidad, solo que sus instrumentos teóricos y prácticos de investigación como ya hemos mencionado eran insuficientes. A juicio del autor, este es el caso de Adam Smith. El concepto de “mano invisible”³⁶ representa el reconocimiento de la existencia de una *propiedad emergente* de los mercados, es decir, un observable macroscópico que emerge de la interacción de los agentes y que no puede ser deducido directamente de las reglas de interacción microscópica de los mismos.

Observar los fenómenos económicos a través de la lente de la teoría de los sistemas complejos es como observar los cielos a través del telescopio de Galileo Galilei a principios del siglo XVII o microrganismos a través del microscopio de A. Leeuwenhoek a finales de esa misma centuria. Los anteriores mencionados inventos cambiaron drásticamente el panorama de las ciencias. Sin duda las com-

35 Nos referimos al ensayo de H. Poincaré acerca del problema de los tres cuerpos presentado para participar en el concurso homenaje al 60 cumpleaños del Rey Oscar II de Suecia. Existe una historia interesante y poco conocida alrededor de este concurso. G. Mittag-Leffler fue el proponente del mismo, lo que aparece asentado en un acta del día 20 de enero de 1889 de la casa real sueca. Mittag-Leffler había pensado inicialmente en los matemáticos Ch. Hermite, K. Weiertrass, A. Cayley o J. Sylvester y P. Chebyshev como miembros del jurado (Barrow-Green 1997, 53), asunto que comentó con S. Kowalevskaya. La matemática rusa sugirió que Weiertrass, Hermite, Cayley y Chebyshev no estarían jamás en un mismo jurado, producto de rencillas personales entre ellos. Así es la ciencia. Finalmente, Mittag-Leffler decidió formar el jurado según su juicio. El mismo quedó constituido por Ch. Hermite, K. Weiertrass y el propio G. Mittag-Leffler. Al lector interesado en esta saga se le recomienda (Gray 2013, 266-268 y los alrededores de la cita anterior de Barrow-Green).

36 Por cierto, este concepto aparece solo tres veces en la abundante obra de A. Smith y una vez en las más de 400 páginas de *La riqueza de las naciones* de 1776.

putadoras y la teoría de los sistemas complejos ofrecerán similares resultados en relación con la investigación económica.

El largo idilio entre las ciencias naturales y las ciencias sociales,³⁷ del cual los episodios que relacionan a Th. Hobbes con Galileo (Ball 2004, 11-16), H. Poincaré con L. Walras (Ingrao e Israel 1990, 134-137) y L. Bachelier (Szpiro 2011, 78-79) o a B. Mandelbrot con E. Fama (Ball 2004, -198), (Mandelbrot y Hudson 2004, 166-167) son pasajes paradigmáticos, se ha reactivado de nuevo a partir de una decisiva incursión de los físicos en el área de las ciencias económicas y en particular en las finanzas. La historia de las ciencias documenta fehacientemente que a las áreas de trabajo nuevas o fértiles con frecuencia arriban investigadores de otras disciplinas que encuentran atractivos los retos que en ellas aparecen. La abundancia de datos y mediciones de los mercados ha atraído en las últimas dos décadas a muchos físicos al área de las finanzas, lo cual ha generado un nuevo punto de vista en el estudio de los mercados financieros. Esta emigración tiene una componente antropológica importante. Durante la Segunda Guerra Mundial y toda la Guerra Fría las potencias europeas y EEUU expandieron notablemente la investigación en física (Barton 1953), (Kaiser 2006), (Leslie 1993, 167-173) por la importancia que esta ciencia tenía en la carrera armamentista. Sin embargo, tras la caída del Muro de Berlín y la correspondiente desaparición del bloque soviético, comenzó un periodo que aún no culmina donde la demanda de físicos ha decaído drásticamente (Kaiser 2002), (Kleves 1995, cap. 25), (Leslie 1993, cap. 9). Es por ello que muchos han decidido incursionar en el sector de las finanzas en particular y en la investigación económica en general. Se ha acuñado el término *econofísica*³⁸ para describir el área de estudios de fenómenos económicos con herramientas de las ciencias físicas.

Los desarrollos en años recientes en el sector de las finanzas apuntan a una ampliación de la concurrencia de nuevas disciplinas científicas (como la inteligencia artificial y la psicología) en la gestación de nuevas teorías del comportamiento de los mercados. Las tormentas financieras de la última década, producto de una combinación de avaricia y de una incorrecta evaluación de los fenómenos financieros confirman que la comprensión de los fenómenos económicos está lejos de ser completa. La teoría económica de los mercados sigue siendo un terreno fértil para nuevos esfuerzos interdisciplinarios. □

37 Una exposición muy abarcadora de este tema puede encontrarse en (Mansilla 2013).

38 El término *econofísica* fue propuesto por Eugene Stanley en una conferencia sobre física estadística que tuvo lugar en Calcuta en 1995.

Referencias

- Alexander, S. «Price movements in speculative markets: Trends and random walks.» *Industrial Management Review*, 2, 2: 7-26, 1961.
- Ball, Ph. *Critical mass*. Farrar, Straus & Giroux, 2004.
- Barrow-Green, J. «Poincare and the Three Body Problem.» *HMath* 11, 1997.
- Barton, H. (1953). «AIP 1952 Annual Report.» *Physics Today*, mayo, 1953. 4-9.
- Bernoulli, D. (1738). «Specimen Theoriae Novae de Mensura Sortis.» En *Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, T. V: 175-192, 1738 (reproducido en *Econometrica*, 22, 1, 1954, 23-36).
- Campbell, J., Lo, A., MacKinlay, A. *The econometrics of financial markets*. Princeton University Press, 1997.
- Cootner, P. «Comments on the variation of certain speculative prices.» En Cootner, P. *The random character of stock markets prices*. MIT Press, 1964, 333-337.
- Courtault, J. «Louis Bachelier on the centenary of théorie de la spéculation.» *Mathematical Finance*, 10, 2000.
- Devlin, K. *The unfinished game: Pascal, Fermat and the seventeenth century letter that made the world modern*. Basic Books, 2008.
- Gray, J. *Henri Poincaré. A scientific biography*. Princeton University Press, 2013.
- Heidelberger, M. *Nature from within: Gustav Theodor Fechner and his psycho-physical worldview*. University of Pittsburg Press, 2004.
- Ingrao, B., Israel, G. *The invisible hand: Economic equilibrium in the history of science*. MIT Press, 1990.
- Ingénousz, J. «Remarques sur l'origine et la nature de la matière verte de M. Priestley, sur la production de l'air dephlogistique par le moyen de cette matière et sur la changement de l'eau en air dephlogistique.» *Journal de Physique*, 25, 1784, 3-12.
- Jovanovic, F., Le Gal, Ph. (2001). «Does God practice a random walk? The financial physics of a 19th century forerunner. J. Regnault.» *European Journal of the History of Economic Thought*, 8, 2001, 526-571.
- Jovanovic, F. «Elements biographiques inédits sur J. Regnault (1834-1894) inventeur du modèle de marché aléatoire pour représenter les variations boursières.» *Revue d'Histoire des Sciences Humaines*, 11, 2004, 215-230.
- Kaiser, D. «Cold War requisition, scientific manpower and the production of American physicists after World War II.» *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 332002, 131-159.
- Kaiser, D. (2006). «The physics of spin: Sputnik politics and American physicists in the 1950's.» *Social Research*, 73, 2006, 1225-1252.
- Kleves, D. *The physicists: The history of a scientific community in modern America*. Harvard University Press, 1995.

- Leslie, S. *The Cold War and the American Science. The Military-Industrial-Academic Complex at MIT and Stanford*. Columbia University Press, 1993.
- Lorentz, E. «Deterministic nonperiodic flow.» *Journal of Atmospheric Sciences*, 20, 1963, 130-141.
- Mandelbrot, B. «The variation of certain speculative prices.» *Journal of Business*, 36, 4, 1963, 394-419.
- Mandelbrot, B., Hudson, R. *The (mis)behavior of the markets*. Basic Books, 2004.
- Mansilla, R. «De Galileo a Walras: el largo idilio entre las ciencias sociales y naturales.» *Interdisciplina*, I, 1, 2013, 87-110.
- Masin, S. et al. «Early alternative derivations of Fechner's law.» *Journal of History of the Behavioral Sciences*, 45, 2009, 56-65.
- Osborne, M. F. M. (1959). «Brownian motion in the stock markets.» *Operations Research*, 7, 1959, 145-147.
- Osborne, M. F. M. (1962). «Periodic structure in the brownian motion of stock prices.» *Operations Research*, 10, 3, 1962, 345-379.
- Pagels, H. R. *The dreams of reason: The computer and the rise of the sciences of complexity*. Simon & Schuster, 1989.
- Regnault, J. *Calcul des chances et philosophie de la Bourse*. Mallet-Bachelier, Castel, 1863.
- Samuelson, P. «Gibbs in economics.» Proceedings of the Gibbs Symposium, Yale University, mayo 15-17. American Mathematical Society, 1989, 255-267.
- Smith, E. F. «Forgotten chemists.» *Journal of Chemical Education*, 3, 1926, 29-40.
- Sornette, D. *Critical phenomena in natural sciences*. Springer, 2006.
- Szpiro, G. *Pricing the future: Finance, physics and the 300-years journey to the Black and Scholes equation*. Basic Books, 2011.
- Van Klooster, H. S. (1952). «Jan Ingenhousz.» *Journal of Chemical Education*, 29, 7, 1952, 353-355.
- Weatherall, J. *The physics of Wall Street. A brief history of predicting the unpredictable*. Houghton Mifflin & Harcourt, 2013.

Jorge Zaragoza Badillo* y Ricardo Mansilla Corona**

La dinámica de la PEA en la zMCM: aplicación de un modelo dinámico no lineal

Resumen | De la retroalimentación entre flujos migratorios de la población y oferta de empleo en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (zMCM) resultó un patrón de crecimiento por etapas de la misma con sus respectivas modalidades migratorias, lo que nos ayudó a identificar a la zona como un sistema complejo. Asumiendo que la zona se encuentra en la tercera etapa de crecimiento urbano–urbano y urbano–suburbano, que le corresponde la modalidad migratoria intrametropolitana, y bajo el supuesto de que el principal factor de migración es la búsqueda de un empleo remunerado, se construyó un modelo matemático programado en computadora para modelar la dinámica de la población económicamente activa (PEA) en la zMCM para los años 2000 y 2010, la cual depende de la tasa de crecimiento de la población económicamente activa ocupada (PEAO), de la tasa de crecimiento de la propia PEA, un saldo migratorio dinámico entre el centro (CDMX) y la periferia (zona conurbada) de la zona. El modelo sirvió para hacer análisis cualitativo del fenómeno, predicción en el corto plazo de la PEAO, la población económicamente activa desocupada (PEAD) y la tasa de desempleo, más algunas simulaciones. Se obtuvieron, gráficamente, los espacios de posibilidades de evolución del fenómeno modelado. Concluimos que el modelo ayuda a comprender mejor un fenómeno que es complicado y complejo y que podría ser usado como una guía para los que toman decisiones de política demográfica, política migratoria y de generación de empleos.

57

The dynamics of the EAP in the MZMC: Application of a dynamic nonlinear model

Abstract | From the feedback between the migratory flows of the population and the supply of employment in the Metropolitan Zone of Mexico City (MZMC) was a pattern of growth by stages of the same with their respective migratory modalities, for which it helped to identify the zone as a complex system. Assuming that the zone is in the third stage of urban–urban and urban–suburban growth, which corresponds to the intrametropolitan migratory modality, and assuming that the main factor of migration is the search for a paid employment, we built a computer-programmed mathematical model for dynamic model-

Recibido: 8 de mayo de 2017. Aceptado: 21 de junio de 2017.

* Doctor en economía, Instituto de Investigaciones Económicas–UNAM.

** Doctor en matemáticas, investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades–UNAM.

Correo-e: zaragozabadillo@exalumno.unam.mx

ing of the economically active population (EAP) in the MZMC for the years 2000 and 2010, which depends on the growth rate of the economically active occupied population (EAOP), the rate of growth of the EAP itself, a dynamic migration balance between the center (Mexico City) and the periphery (conurbation zone) of the area. The model served to make the qualitative analysis of the phenomenon, short-term prediction of EAOP, the economically active unemployed population (EAUP) and the unemployment rate, plus some simulations. The spaces of possibilities of the evolution of the modeled phenomenon were obtained graphically. We conclude that the model helps to better understand a phenomenon that is complicated and complex and could be used as a guide for decision makers on population policy, migration policy and job creation.

Palabras clave | modelo matemático, ZMCM, dinámica de la PEA, patrón de crecimiento urbano, migración, sistema complejo

Key words | MZMC, EAP dynamics, urban growth pattern, intrametropolitan migration, complex system

Introducción

En la primera parte se argumenta por qué se puede abordar el estudio de las ciudades con el paradigma de los sistemas complejos; en la segunda, hacemos una aproximación al objeto de estudio, lo cual nos permitió percarnos de que el patrón de crecimiento de la ZMCM ha sido semejante al de otras ciudades del mundo, cuyas etapas de crecimiento tienen asociadas determinadas modalidades migratorias, una de ellas es la migración urbana–urbana (intrametropolitana), que para el caso que nos ocupa es la migración entre la CDMX y su área conurbada. En la tercera parte se explica la heurística del modelo, es decir, el significado de las variables y los parámetros, lo que se está modelando y cómo funciona; después se explican los supuestos del modelo con sus respectivas hipótesis y su formalización matemática. En la cuarta parte se hace la aplicación a la ZMCM para los años 2000 y 2010, incluyendo el análisis de estabilidad del modelo, lo cual ayudó a una mejor interpretación de los resultados. Por último, se hicieron algunas reflexiones a manera de conclusión.

Las ciudades como sistemas complejos

Antes que Prigogine (1987), Krugman (1996), Allen (1982, 1997) y Batty (2007), una investigadora norteamericana, Jane Jacobs (1961), se percató de que a las ciudades se las podía estudiar como si se tratara de organismos vivos que evolucionan conforme transcurre el tiempo y que sufren transformaciones como

resultado de variables de todo tipo que influyen sobre estas de manera simultánea. A su vez, ella se inspiró en Warren Weaver (1948), quien sugirió que los sistemas, en general, se podían clasificar como aplicables a tres tipos de problemas: problemas de simplicidad; problemas de complejidad desorganizada, y los problemas de complejidad organizada.¹ Donde esta última categoría debería constituir la vanguardia de la ciencia. Al respecto dijo:

Estos problemas —y una amplia gama de problemas similares en la biología, la medicina, la psicología, la economía y la política— son demasiado complicados para ceder el paso a las viejas técnicas del siglo XIX, que eran tan dramáticamente exitosas en resolver problemas de la simplicidad con dos, tres y cuatro variables. Estos nuevos problemas, más aun, no pueden ser manejados de manera eficaz con las técnicas estadísticas que describen un comportamiento medio ante problemas de complejidad desorganizada [...] La ciencia debe, en los próximos 50 años,² aprender a lidiar con estos problemas de la complejidad organizada. (Weaver 1948, 538).

Así que Jacobs fue la primera en proponer que esos “problemas de complejidad organizada” incluían las ciudades. Más aún, para ella, las ciudades son un ejemplo *por excelencia* de complejidad organizada:

El simple hecho de pensar en las ciudades y llegar a algún lugar, una de las principales cosas que debe saber es qué tipo de problemáticas tiene [...] Las ciudades resultan ser problemas de complejidad organizada, como las ciencias de la vida. Se presentan situaciones en las que una media docena o varias docenas de cantidades están variando al mismo tiempo y de manera sutil interconectados [...] Las variables son muchas, pero no son sin orden ni concierto, sino que se están ‘interrelacionando en un todo orgánico’.³ (Jacobs 1961).

Esta idea de que las variables están interconectadas en un todo orgánico la condujo a concebir a las ciudades como un organismo biológico, lo cual es otra

1 Posteriormente, veremos que en la actualidad un sistema complejo se identifica por presentar caos determinista, es decir, el sistema presenta una parte ordenada y una parte desordenada, y lo que está en medio de ambas es la complejidad.

2 Justamente, cincuenta años después, en la década de los noventa, apareció el *boom* de las ciencias de la complejidad.

3 Jacobs no utilizó el término “sistema complejo”, pero queda claro que cuando habla de complejidad organizada se está refiriendo al mismo fenómeno. Más adelante veremos cómo la interacción de varios elementos de manera azarosa da como resultado la aparición de patrones emergentes, lo cual indica que en el desorden aparente también hay un “orden oculto”, como diría John Holland.

forma de reconocer que las ciudades pueden ser estudiadas como un sistema complejo debido a que actualmente está ampliamente aceptado que en cualquier organismo vivo se pueden encontrar las propiedades de un sistema complejo.⁴ En ese sentido, en su libro *La economía de las ciudades* retoma una discusión que hubo en el siglo XIX entre la teoría de la preformación y la teoría de la epigénesis:

Quienes consideran las ciudades simplemente como pueblos que se han ido haciendo grandes creen en una teoría de 'preformación' del crecimiento de la ciudad, una amplitud de lo que esencialmente ya está allí. Yo defiendo, más bien, una teoría de 'epigénesis' de las ciudades: la idea de que la ciudad crece por un proceso de diversificación y diferenciación gradual de la economía, partiendo de poco más que su trabajo de exportación inicial y los abastecedores de dicho trabajo. (Jacobs 1971, 144).

No sabemos si Prigogine y Allen conocen la obra de Jacobs, pero ellos también se dieron cuenta de que las ciudades y regiones se pueden ver como sistemas autorganizados, que se pueden modelar con sistemas dinámicos, los cuales son una parte importante de la matemática de los sistemas complejos. Para ello invirtieron casi diez años de investigación en la Universidad Libre de Bruselas. A continuación, veremos parte de lo que investigaron.

Con respecto a la modelación de los sistemas humanos Prigogine propuso lo siguiente:

Nuestra experiencia cotidiana nos enseña que *la capacidad de adaptación y la capacidad de estructuración del comportamiento*, como dos trazos fundamentales de los sistemas dinámicos no lineales, que pueden verificar transiciones bajo condiciones de no equilibrio, se encuentra entre las características más llamativas de las sociedades humanas. Por lo tanto, es completamente natural que partamos de que los modelos dinámicos, con sus posibilidades para la evolución y el cambio, son los más adecuados para la descripción de sistemas sociales. (Prigogine 1987, 317-318).

Aceptando el hecho de que podemos pasar de un sistema social a un sistema socioeconómico y que las ciudades en realidad son sistemas socioeconómicos asentados en un espacio geográfico y que evolucionan al transcurrir el tiempo, cabe hacernos las siguientes preguntas: ¿la evolución de una ciudad se dirige a una especie de óptimo global a la manera de un óptimo de Pareto?, o,

4 Algunas de esas propiedades son: dinámica no-lineal; evolución en el tiempo; irreversibilidad en el tiempo; frustración; rupturas de simetría; criticalidad autorganizada; fractalidad; estados cuantitativamente equivalentes, pero cualitativamente distintos, y, propiedades emergentes con formación de patrones espaciotemporales.

¿la evolución de una ciudad representa el desarrollo de un proceso estocástico complejo cuyas reglas no se pueden predeterminar? En otras palabras, ¿la evolución de las ciudades es lineal o no lineal? ¿La evolución de las ciudades es determinista o caótica, ¿son suficientes las experiencias anteriores para poder predecir el futuro de una ciudad o se caracteriza por ser impredecible? Si abordamos a las ciudades desde el paradigma de los sistemas complejos, Germinal Cocho y Gustavo Martínez-Mekler (2011) darían como respuesta: “Nada hay tan determinista como un tambache de procesos azarosos, desordenados”. Es decir, dentro de una ciudad podemos observar varios procesos azarosos desordenados que pueden ser captados con algunas variables relevantes que nos pueden indicar un patrón de evolución semejante para distintas ciudades de un mismo país o de diferentes países con sus respectivas modalidades migratorias, también semejantes, que nos sirvan de guía para predecir la siguiente etapa en el proceso de evolución de alguna ciudad que esté en sus primeras fases.

Uno de los principales trabajos que usan el paradigma de los sistemas complejos es el de Peter Allen, quien publicó sus resultados en el libro *Cities and Regions as Self-Organizing Systems. Models of Complexity* (1997), donde formula modelos que, con la ayuda de la computadora, simulan patrones de evolución que sugieren la existencia de autorganización⁵ en la formación de ciudades y regiones. Pero lo más interesante para este trabajo es que en el segundo capítulo usa un sistema de tres ecuaciones diferenciales acopladas para modelar los flujos migratorios en Estados Unidos para el periodo 1950–1970; este modelo⁶ explora cómo un cambio en el ‘empleo base’ puede inducir patrones realistas de migración y autorganización. La hipótesis de Allen es:

Esencialmente, la historia de la urbanización creciente es de una migración a través de un largo periodo de tiempo y de una concentración espacial de inversión económica en áreas particulares. Claramente, hay una relación entre las dos, desde que la inversión económica irá a los lugares donde hay fuerza de trabajo con habilidades apropiadas y un mercado, y la gente irá a las áreas donde hay oportunidades de tra-

5 La autorganización es una de las propiedades más importantes de un sistema complejo. La idea es la siguiente: los elementos que componen el sistema actúan sin ponerse de acuerdo entre ellos previamente, pero producto de la interacción entre ellos, sin querer y a veces sin darse cuenta, forman un patrón emergente que es propiedad del sistema, pero no de sus elementos. Por ejemplo, el crecimiento de la mancha urbana en una ciudad es el resultado de la interacción entre la población que inmigra buscando un empleo y los que lo ofrecen en dicha ciudad.

6 Este se tomó como base para modelar la dinámica de retroalimentación entre población y empleo que se aplicará en este trabajo, pero no significa que se vaya a aplicar el mismo modelo. Lo que tienen en común es que ambos son modelos dinámicos no lineales cuya base matemática son los sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales.

bajo. Esta es la clase de efecto ‘catalítico cruzado’ que va a generar el crecimiento de centros de concentración urbana en nuestro modelo, mientras que la competencia por espacio va a establecer los límites de cómo una alta densidad urbana puede crecer. (Allen 1997, 27).

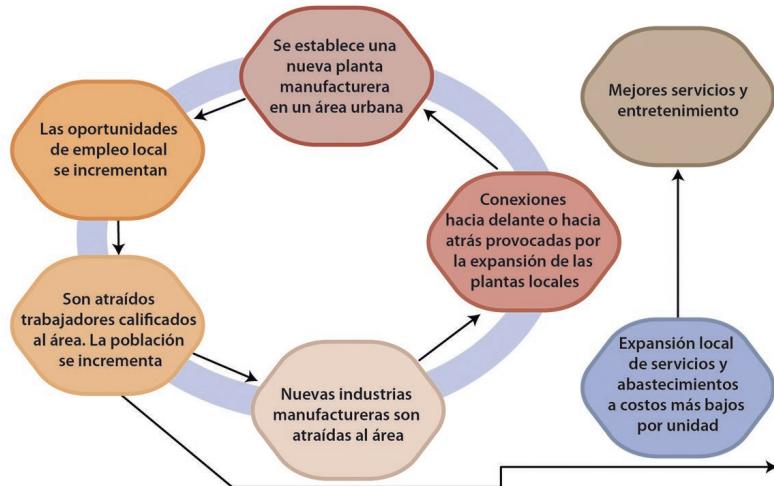
Una forma esquemática de ver la hipótesis de Allen es con la figura 1. Dicho de otro modo, hay una dinámica de retroalimentación entre empresas y personas, la cual inició con flujos migratorios por un largo periodo de tiempo a un determinado lugar; un ejemplo concreto son los flujos migratorios de europeos al norte de América durante los siglos XVI a XIX que dio como resultado el surgimiento de las primeras ciudades de Estados Unidos.

Un aspecto distintivo de los modelos con sistemas de ecuaciones diferenciales no lineales es que el horizonte de predictibilidad es de corto plazo; en todo caso, ayudan a comprender el comportamiento cualitativo, más que el cuantitativo, del fenómeno estudiado. Una ventaja de estos modelos es que se pueden programar en computadora, lo que hace posible plantear escenarios “jugando” con los valores de los parámetros y las variables.

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México

Lo primero que necesitamos dejar claro desde el principio es que para este trabajo la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM) es aquella compuesta

Figura 1. Esquema de la dinámica de retroalimentación entre la población y el empleo.



Fuente: (Allen 1997, 84).

por las 16 delegaciones de la CDMX y 41 municipios del área conurbada (57 unidades económico-administrativas). Se trata de la zona metropolitana más grande y la más importante porque incluye a la capital del país (la CDMX), entidad federativa que desde la colonia ha registrado el PIB más alto y la mayor oferta de empleo. En el año 2012, la ZMCM era considerada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) como la tercera ciudad más grande del mundo con 20.4 millones de habitantes, solamente superada por Nueva Delhi y Tokio con 22.7 y 37.2 millones de habitantes, respectivamente; el informe del 2014, nuevamente coloca a Tokio con 38 millones de habitantes, seguida de Nueva Delhi con 25 millones, ahora el tercer lugar lo ocupa Shangai con 23 millones, el cuarto lugar la Ciudad de México (para nosotros es la ZMCM) también con 23 millones, seguida por Sao Paulo y Bombay con 21 millones. Como podemos ver, de 2012 a 2014 la población pasó de 20.4 millones a 23 millones en la ZMCM. Para llegar a este tamaño y lugar, la ZMCM pasó por varias etapas semejantes a las de otras ciudades del mundo:

La evolución intraurbana de las áreas metropolitanas del país muestra los patrones que sigue este tipo de localidades en otras latitudes del planeta.⁷ Las conurbaciones han ido transitando de una a otra fase de metropolitanismo; estas etapas han sido definidas como urbanización, suburbanización, desurbanización y reurbanización, y se correlacionan con estadios en la localización del empleo: concentración, desconcentración, estancamiento y reactivación. (Sobrino 2003, 455).

El mismo proceso descrito por Sobrino fue hecho en una investigación más reciente sobre la ZMCM, la cual muestra con datos de la población que hubo primero una concentración poblacional en la actual CDMX en la época del modelo de sustitución de importaciones (1940–1976), luego una dispersión hacia los municipios conurbados del Estado de México (1976–1995) y, más recientemente, están adquiriendo cada vez más importancia los flujos migratorios en ambos sentidos entre la CDMX y el área conurbada del Estado de México:

Por vez primera en muchas décadas se observó entre 1995 y 2000 un flujo que se reforzó hacia el D.F.,⁸ ya que esta entidad recibió a 173,865 migrantes del Estado de México, lo que representa más del doble de los que llegaron entre 1985 y 1990. En

⁷ Una de las ventajas de las ciencias de la complejidad y algunas de sus herramientas es que pueden ayudar a identificar, en principio, algunos patrones generales de comportamiento (propiedades emergentes) de fenómenos donde sus actores (agentes) toman decisiones individuales, es decir, sin ponerse de acuerdo con los demás.

⁸ En aquel entonces la CDMX todavía se llamaba Distrito Federal.

cambio se redujo el flujo de originarios del D.F. al Estado de México de 549,000 a 449,000 en el mismo lapso. (Negrete 2008, 214).⁹

Otro aporte teórico que complementa a los dos anteriores, pero con la virtud de asociar las fases de urbanización con modalidades migratorias es el siguiente:

[...] reconoce cuatro fases del proceso de urbanización: urbanización, urbanización–suburbanización, suburbanización y desurbanización, cada una de las cuales se caracteriza, entre otros aspectos por la preeminencia de ciertas modalidades migratorias. Así en la primera etapa predominan los flujos de carácter rural–urbano; en la segunda rural–urbano y rural–suburbano; en la tercera, los desplazamientos urbano–suburbano y urbano–urbano, incluida la migración por etapas a través de la jerarquía urbana, o bien los movimientos entre ciudades de la misma jerarquía; y en la cuarta etapa, los flujos desde los núcleos centrales y sus anillos circundantes hacia su *hinterland* no–urbano. (Tuirán 2000, 149).

De acuerdo con esto, la ZMCM se encuentra en la tercera fase, es decir, en los desplazamientos urbano–suburbano y urbano–urbano. Pero si dividimos a la ZMCM en dos partes donde el centro es la CDMX y la periferia toda la zona conurbada, es posible modelar la migración de la PEAD entre estas dos zonas urbanas, es decir, migración urbana–urbana. La idea es correr el modelo con datos del año 2000 y 2010 de los Censos de Población y Vivienda del INEGI.

Un modelo de la dinámica de la PEA aplicado a la ZMCM

La idea es que al transcurrir el tiempo la evolución de la PEA = PEAO + PEAD se ajusta al nivel de empleo remunerado (*E*) que hay en la zona en cuestión, donde la cantidad de *E* en cada zona tiene relación con sus recursos, sus ventajas comparativas para la industria y los servicios, la distribución de la producción y la cantidad de *E* ocupados en los tres sectores de la economía, considerando el peso de las zonas en cuestión. Este modelo incluye la migración entre dos zonas de un porcentaje de la población que suponemos está desempleada, y ese es el principal motivo por el cual migra. El *E* es el principal parámetro, cuya variación es la

⁹ Esta cita es muy importante para la aplicación que vamos hacer del modelo. La autora dice que por primera vez en muchas décadas el flujo fue mayor de la CDMX hacia el área conurbada, pero en el periodo 1995–2000 es mayor del área conurbada hacia la CDMX, la tendencia continúo en el periodo 2005–2010, lo cual se verá cuando apliquemos el modelo.

que más influye en la evolución de las variables. Entonces, el método consiste en escribir dos sistemas de ecuaciones diferenciales con dos ecuaciones cada uno, donde cada sistema está acoplado por sí mismo por medio de la interacción de sus variables, pero, a su vez, los dos sistemas se acoplan por un saldo migratorio dinámico, donde el funcionamiento es el siguiente: se establece una relación inversa no proporcional entre la PEAO y la PEAD cuya dinámica depende del nivel de E; cuando el nivel de E es alto en relación con la PEA, el incremento de la tasa de desempleo es lenta, pero cuando el nivel de E es pequeño en relación con la PEA el incremento de la tasa de desempleo es rápida. Como el modelo está programado para ser corrido en una computadora, podemos plantear escenarios con tan sólo modificar los valores de los parámetros y las variables. Además, otra virtud que tiene el modelo es que nos permite conectar la economía (por medio del parámetro del nivel de empleo), la demografía (a través de las tasas de crecimiento de las variables, las cuales llevan implícita la tasa natural de crecimiento de la población) y la migración (a través de los porcentajes de la población que migra de una zona a otra, bajo el supuesto de que son personas desempleadas).

Formalización matemática y construcción del modelo

Varios investigadores entre los que destacan Corona (1999), Tuirán (2000), Sobrino (2003) y Negrete (2008) coinciden en que hay cuatro fases del proceso de urbanización: urbanización, urbanización–suburbanización, suburbanización y desurbanización, las cuales se relacionan con diferentes modalidades de migración: en la primera etapa predominan los flujos de carácter rural–urbano, en la segunda rural–urbano y rural–suburbano, en la tercera los desplazamientos urbano–suburbano y urbano–urbano, incluida la migración por etapas a través de la jerarquía urbana, o bien los movimientos entre ciudades de la misma jerarquía, y en la cuarta etapa, los flujos desde los núcleos centrales y sus anillos circundantes hacia su *hinterland* no–urbano, tal y como se mencionó en un párrafo precedente.

De acuerdo con la evidencia y con base en los autores anteriores, podemos decir que la ZMCM, se encuentra en una etapa de desplazamientos urbano–urbano (entre la Ciudad de México y su zona conurbada que incluye 40 municipios del Estado de México y Tizayuca) que corresponde a la migración intrametropolitana y los movimientos entre ciudades de la misma jerarquía. Sabemos que también existe la migración interurbana y la pendular, pero en nuestra propuesta de modelo sólo vamos a modelar y hacer una aplicación de la migración intrametropolitana.

Las razones por las cuales las personas migran son varias, pero tomando como base la hipótesis de la presente investigación podríamos preguntar: ¿cuál

es la razón económica por la que migran la mayoría de las personas? Una posible respuesta es la siguiente: a la mayoría de las personas les gustaría vivir todo el tiempo en su lugar de origen, con su familia y sus amistades; pero la pobreza y la falta de empleos que satisfagan sus necesidades económicas les obligan a emigrar a aquellos lugares donde se encuentran los empleos que requieren para mejorar su nivel material de vida.

Dada la naturaleza dinámica y evolutiva del fenómeno de los flujos migratorios, vale la pena hacer el esfuerzo de comprender mejor el modelo por medio de la formalización matemática del mismo tomando en cuenta las causas económicas de la migración. Sin embargo, hay que recordar que este tipo de modelos (dinámicos no lineales) pueden predecir el comportamiento de un fenómeno de manera limitada, en cambio, nos pueden proporcionar información *cualitativa* acerca de los posibles estados futuros de su evolución (Allen, 1997). Un intento de generalización y de presentarlo de forma didáctica nos condujo a proponer el modelo lo más sencillo posible (dos sistemas con dos ecuaciones diferenciales y cinco parámetros cada uno) con el fin de conectar temas que, por lo regular, se estudian por separado: la demografía, la migración y la economía (por medio del nivel de empleo).

Supuestos del modelo

- i. La migración se da entre dos zonas.
- ii. En ambas zonas hay desempleo.
- iii. La población total (PT) es la suma de la población económicamente activa ocupada ($PEAO$) y la población económicamente activa desocupada ($PEAD$).
- iv. El nivel de empleo remunerado (E) está dado en ambas zonas.
- v. Un porcentaje de la $PEAD$ de la zona 2, inmigra a la zona 1.
- vi. Una porcentaje de la $PEAD$ de la zona 1, emigra a la zona 2.
- vii. La interacción entre la $PEAO$ y la $PEAD$ expresa la dinámica del mercado de trabajo.
- viii. La $PEAD$ que busca trabajo, está en función de la proporción de la misma $PEAD$, dado el nivel de empleo.
- ix. El crecimiento de la $PEAD$ está en función de la proporción de su propio tamaño.
- x. La población total (PT) crece en función del crecimiento de $PEAO + PEAD$.

Ahora bien, la dinámica entre $PEAO$ y $PEAD$, dado un nivel de E y un porcentaje de migración de población desempleada entre dos zonas, está dada por las siguientes hipótesis:

- xi. La velocidad de crecimiento (o decrecimiento) de la $PEAO$ es proporcional a la $PEAD$ buscando trabajo dado el nivel de E , y disminuye (o aumenta) de ma-

- nera proporcional al crecimiento (o decrecimiento) de la dinámica del mercado de trabajo;
- xii. La velocidad de crecimiento de la PEAD aumenta en forma proporcional al crecimiento de la PT (suma de la PEAO y la PEAD), disminuye en función de la velocidad de crecimiento de la PEAO, y aumenta (o disminuye) de manera proporcional en función del saldo migratorio dinámico.

Formalización matemática de los supuestos

Con base en el supuesto iii) se establece:

$$P_i = x_i + y_i \quad \forall i = 1, 2 \quad (1)$$

donde:

P_i es la PT de la zona i ;

x_i es la PEAO de la zona i ;

y_i es la PEAD de la zona i ;

Ahora bien, con base en el supuesto ix), se puede establecer:

$$a_i y_i \quad \forall i = 1, 2 \quad a_i > 0 \quad (2)$$

donde: a_i es una tasa de crecimiento en la zona i , y toma valores [0 : 1];

Al multiplicar la parte derecha de la expresión (2) por el nivel de empleo dado, E_i , se obtiene la expresión:

$$a_i y_i E_i \quad \text{para} \quad E_i > 0 \quad (3)$$

donde: E_i es el nivel de empleo remunerado dado en la zona i ;

La expresión (3) formaliza el supuesto viii).

Ahora, con base en el supuesto x), se establece:

$$b_i P_i = b_i (x_i + y_i) \quad \forall i = 1, 2; \quad b_i > 0 \quad (4)$$

donde: b_i es una tasa de crecimiento de la P en la zona i , y toma valores [0 : 1];

Al sustituir las expresiones (2) y (4) en la expresión (1) se obtiene la formalización del supuesto x). Es decir:

$$P_i = b_i (x_i + y_i) \quad (5)$$

Ahora bien, al multiplicar la expresión (2) por x_i , se obtiene:

$$a_i y_i x_i \quad (6)$$

Con base en el supuesto v), se establece:

$$i_i y_i \quad (7)$$

El cual es un porcentaje de la PEAD de la zona i que inmigra. Y con base en el supuesto vi), se establece:

$$e_i y_i \quad (8)$$

Que representa el porcentaje de la PEAD de la zona i que emigra.

Ahora bien, restando la expresión (8) a la (7), se obtiene:

$$i_i y_i - e_i y_i \quad (9)$$

que representa el saldo de la migración.

Con base en la hipótesis xi), y las expresiones (3) y (6), se obtiene:

$$\frac{dx_i}{dt} = a_i y_i E_i - a_i y_i x_i \quad (10)$$

factorizando el lado derecho de la igualdad, la expresión se reduce a:

$$\frac{dx_i}{dt} = a_i y_i (E_i - x_i) \quad (11)$$

donde $\frac{dx_i}{dt}$ es la velocidad de crecimiento de la PEAO en la zona i .

Con base en la hipótesis xii) se puede establecer:

$$\frac{dy_i}{dt} = b_i P_i \text{ con } b_i > 0, \quad \forall i = 1, 2 \quad (12)$$

donde $\frac{dy_i}{dt}$ es la velocidad de crecimiento de la PEAD en la zona i .

Pero como $P_i = x_i + y_i$ entonces la expresión anterior es:

$$\frac{dy_i}{dt} = b_i(x_i + y_i) \quad (13)$$

Ahora, con base en la expresión (13), (11) y (9), se obtiene la formalización completa de la hipótesis xii):

$$\frac{dy_i}{dt} = b_i(x_i + y_i) - (a_i y_i (E_i - x_i)) + (i_i y_i - e_i y_i) \quad (14)$$

Así, las ecuaciones diferenciales (13) y (14) representan el modelo de la dinámica de la migración y el empleo de la zona i :

$$\frac{dx_i}{dt} = a_i y_i (E_i - x_i) \quad (15)$$

$$\frac{dy_i}{dt} = b_i(x_i + y_i) - (a_i y_i (E_i - x_i)) + (i_i y_i - e_i y_i)$$

Por último, especificando las zonas 1 y 2, en el sistema de ecuaciones (15), queda de la siguiente forma:

Zona 1: $P_1 = x_1 + y_1$

Sistema 1 (zona 1):

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 y_1 (E_1 - x_1) \quad (16)$$

$$\frac{dy_1}{dt} = b_1(x_1 + y_1) - (a_1 y_1 (E_1 - x_1)) + (i_2 y_2 - e_1 y_1)$$

Zona 2: $P_2 = x_2 + y_2$

Sistema 2 (zona 2):

$$\frac{dx_2}{dt} = a_2 y_2 (E_2 - x_2) \quad (17)$$

$$\frac{dy_2}{dt} = b_2 (x_2 + y_2) - (a_2 y_2 (E_2 - x_2)) + (i_1 y_1 - e_2 y_2)$$

A continuación, veamos la figura de los flujos migratorios entre la zona 1 y la zona 2 que corresponden a los sistemas (16) y (17), respectivamente.

Figura 2.

Sistema 1 (zona 1):

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 y_1 (E_1 - x_1)$$

$$\frac{dy_1}{dt} = b_1 (x_1 + y_1) - (a_1 y_1 (E_1 - x_1)) + (i_2 y_2 - e_1 y_1)$$

Sistema 2 (zona 2):

$$\frac{dx_2}{dt} = a_2 y_2 (E_2 - x_2)$$

$$\frac{dy_2}{dt} = b_2 (x_2 + y_2) - (a_2 y_2 (E_2 - x_2)) + (i_1 y_1 - e_2 y_2)$$

Aplicación del modelo sobre la dinámica de la PEA en la ZMCM

Sean:

PEA = Población económicamente activa;

PEAO = Población económicamente activa ocupada;

PEAD = Población económicamente activa desocupada;¹⁰

E = Empleo remunerado.¹¹

Como ya se dijo, por un lado recurrimos a los Censos de Población y Vivienda 2000 y 2010 del INEGI para obtener la PEA y las variables PEAO y PEAD de las delegaciones y municipios que conforman la ZMCM. Por otro lado, obtuvimos la información del empleo remunerado (*E*) de los censos económicos 1999, 2004, 2009 y 2014 del INEGI tomando al personal ocupado remunerado de las unidades económicas de cada una de las delegaciones y municipios de la zona en cuestión. Por último, bajo el supuesto de que la población migrante es aquella que se desplaza en busca de mejores condiciones materiales de vida tratando de obtener un empleo, para el dato del porcentaje de migración recurrimos a la información de la población que vivía en otro municipio (delegación) cinco años antes, la cual se encontró, también, en los Censos de Población y Vivienda 2000 y 2010. Toda la información se bajó de la página www.inegi.gob.mx del INEGI.

Tomando en cuenta que el modelo que vamos aplicar está compuesto por dos sistemas de ecuaciones diferenciales a los cuales denominamos zona 1 y zona 2, es menester dejar claro cuáles municipios (delegaciones) de la ZMCM van a conformar dichas zonas. En este caso, la zona 1 (centro) está compuesta por las 16 delegaciones de la CDMX (antes D.F.), y la zona 2 (periferia) está compuesta por 40 municipios conurbados del Estado de México más Tizayuca que es un municipio de Hidalgo. En el siguiente cuadro se presentan las listas de las 16 delegaciones y los 41 municipios que componen el centro y la periferia de la ZMCM:

10 En la página Web y publicaciones del INEGI aparece como población económicamente activa no ocupada (PEANO).

11 En este caso, dadas las dificultades para encontrar información desagregada a nivel delegación política o municipio de los afiliados al IMSS, al ISSSTE y otras instituciones similares que prestan servicios de salud a los trabajadores, se tomará como equivalente del empleo formal al personal ocupado remunerado dependiente de la razón social (PORDRS)—información extraída de los censos económicos 1999, 2004, 2009 y 2014 del INEGI—que trabaja en las Unidades Económicas de cada delegación y/o municipio de la ZMCM.

Cuadro 1. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, Centro y Periferia.

| Centro | | Periferia | | | | |
|--------|------------------------|-----------|-------------------------|----|-----------------------------|--|
| 1 | Azcapotzalco | 1 | Tizayuca | 22 | Nextlalpan | |
| 2 | Coyoacán | 2 | Acolman | 23 | Nicolás Romero | |
| 3 | Cuajimalpa de Morelos | 3 | Atenco | 24 | Papalotla | |
| 4 | Gustavo A. Madero | 4 | Atizapán de Zaragoza | 25 | La Paz | |
| 5 | Iztacalco | 5 | Coacalco de Berriozábal | 26 | San Martín de las Pirámides | |
| 6 | Iztapalapa | 6 | Cocotitlán | 27 | Tecámac | |
| 7 | La Magdalena Contreras | 7 | Coyotepec | 28 | Temamatla | |
| 8 | Milpa Alta | 8 | Cuautitlán | 29 | Teoloyucan | |
| 9 | Alvaro Obregón | 9 | Chalco | 30 | Teotihuacán | |
| 10 | Tláhuac | 10 | Chiautla | 31 | Tepetlaotoc | |
| 11 | Tlalpan | 11 | Chicoloapan | 32 | Tepotzotlán | |
| 12 | Xochimilco | 12 | Chiconcuac | 33 | Texcoco | |
| 13 | Benito Juárez | 13 | Chimalhuacán | 34 | Tezoyuca | |
| 14 | Cuauhtémoc | 14 | Ecatepec de Morelos | 35 | Tlalmanalco | |
| 15 | Miguel Hidalgo | 15 | Huehuetoca | 36 | Tlalnepantla de Baz | |
| 16 | Venustiano Carranza | 16 | Huixquilucan | 37 | Tultepec | |
| | | 17 | Ixtapaluca | 38 | Tultitlán | |
| | | 18 | Jaltenco | 39 | Zumpango | |
| | | 19 | Melchor Ocampo | 40 | Cuautitlán Izcalli | |
| | | 20 | Naucalpan de Juárez | 41 | Valle de Chalco Solidaridad | |
| | | 21 | Nezahualcóyotl | | | |

Fuente: Elaboración propia con base en INEGI. XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

Aplicación del modelo con datos del Censo de Población y Vivienda 2000 y los Censos Económicos 1999 y 2004

A continuación, se presenta el cuadro 2 con toda la información para la aplicación:

Cuadro 2. Centro–Periferia, 2000.

| Nombre de la variable o parámetro | Variable | Zona 1 (Centro = CDMX) | Zona 2 (Periferia = Área conurbada) |
|---|----------|------------------------|-------------------------------------|
| Población económicamente activa (PEA), millones | P_i | 3.64 | 3.45 |
| Población económicamente activa ocupada (PEAO), millones | x_i | 3.58 | 3.39 |
| Población económicamente activa desocupada (PEAD), millones | y_i | 0.06 | 0.06 |
| Empleo remunerado (E), millones | E_i | 1.97 | 0.67 |
| Tasa de crecimiento de la PEAD, 1990–2000 | a_i | -0.21 | -0.11 |
| Tasa de crecimiento de la PEA, 1990–2000 | b_i | 0.23 | 0.55 |
| Porcentaje de inmigración | i_i | 0.02 | 0.05 |
| Porcentaje de migración | e_i | 0.05 | 0.02 |

Nota: El empleo remunerado es un promedio de los datos de los censos económicos 1999 y 2004.

Fuente, elaboración propia con datos de:

(1) INEGI, XI Censo General de Población y Vivienda 1990.

(2) INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.

(3) INEGI, Censos Económicos 1999.

(4) INEGI, Censos Económicos 2004.

Cuadro 3. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2000. Población económicamente activa ocupada y población económicamente activa desocupada de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), millones de personas.

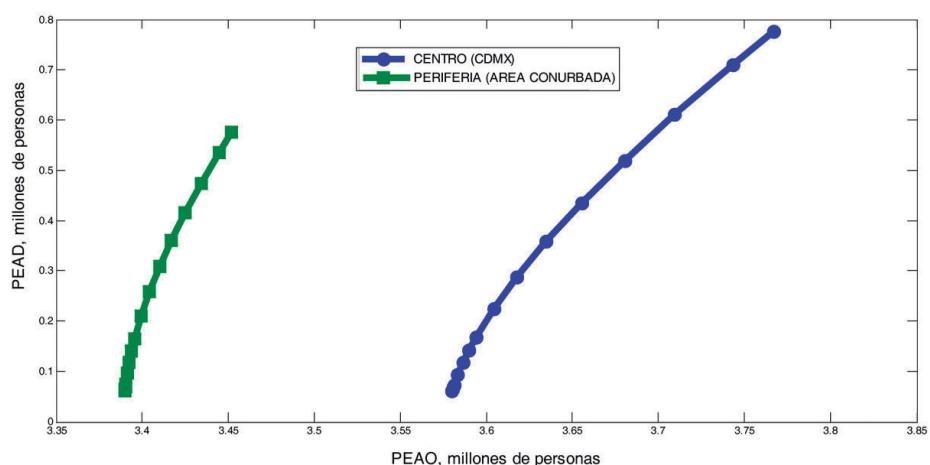
| TIEMPO | PEAO, CDMX | PEAD, CDMX | PEAO, área conurbada | PEAD, área conurbada |
|--------|------------|------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 3.58 | 0.06 | 3.39 | 0.06 |
| 2 | 3.58 | 0.06 | 3.39 | 0.06 |
| 3 | 3.58 | 0.07 | 3.39 | 0.07 |
| 4 | 3.58 | 0.07 | 3.39 | 0.07 |
| 5 | 3.58 | 0.09 | 3.39 | 0.10 |
| 6 | 3.59 | 0.12 | 3.39 | 0.12 |
| 7 | 3.59 | 0.14 | 3.39 | 0.14 |
| 8 | 3.59 | 0.17 | 3.40 | 0.16 |
| 9 | 3.61 | 0.24 | 3.40 | 0.22 |
| 10 | 3.63 | 0.32 | 3.41 | 0.28 |
| 11 | 3.65 | 0.42 | 3.42 | 0.35 |
| 12 | 3.68 | 0.52 | 3.43 | 0.42 |
| 13 | 3.72 | 0.64 | 3.44 | 0.49 |
| 14 | 3.76 | 0.76 | 3.45 | 0.57 |
| 15 | 3.82 | 0.91 | 3.47 | 0.65 |
| 16 | 3.88 | 1.06 | 3.48 | 0.74 |
| 17 | 3.88 | 1.08 | 3.49 | 0.75 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

El cuadro 3 muestra los resultados numéricos arrojados por el modelo.

La figura 3 muestra la relación entre las variables PEAO y PEAD. La azul es la CDMX (centro) y la verde es el área conurbada (periferia).

Figura 3. ZMCM, 2000, PEAO VS. PEAD.

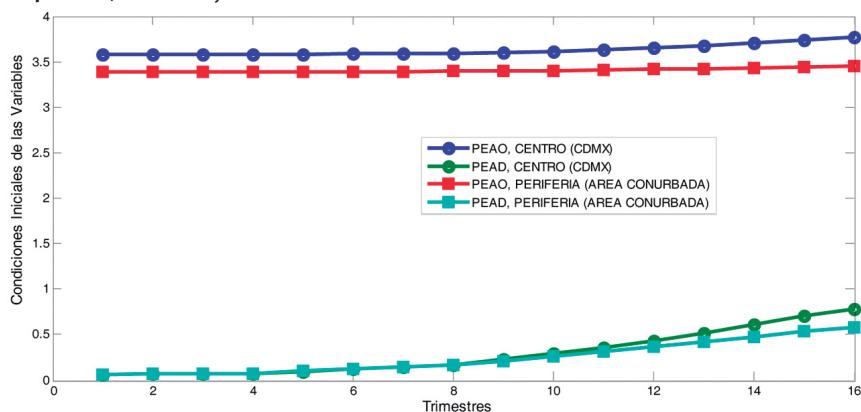


Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 2 y el programa MATLAB 7.8.0.

La figura 3 nos indica que hay una relación directa no proporcional entre las variables (PEAO vs. PEAD) de ambas zonas porque la pendiente de sus respectivas curvas son positivas. Un ejemplo de la lectura que se hace es el siguiente: cuando hay 3.6 millones de PEAO en la CDMX, simultáneamente hay 0.2 millones (200,000) de PEAD (personas desempleadas); cuando hay 3.4 de PEAO en el área conurbada (municipios del Estado de México y Tizayuca), simultáneamente hay, también, 0.2 millones (200,000) de PEAD (personas desempleadas).

Ahora presentamos la trayectoria de las variables, es decir, su evolución a través del tiempo:

Figura 4. ZMCM, 2000. Trayectorias de las variables.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 3 y el programa MATLAB 7.8.0.

La figura 4 nos muestra que el comportamiento de las variables (PEAO y PEAD) en el centro (CDMX) es casi paralelo, pero a partir del tiempo 8 la PEAD empieza a crecer más rápido que la PEAO; en el caso de la periferia (área conurbada) se observa algo semejante, también la PEAD empieza a crecer más acelerada que la PEAO a partir del tiempo 8. No obstante, debido a que se trata de un modelo dinámico no lineal, el horizonte de predictibilidad es de corto plazo. Dicho horizonte se puede determinar comparando la evolución de las variables del mundo real con la evolución de las variables trazadas con los datos arrojados por el modelo. Por lo pronto, una de las ventajas de usar la nomenclatura del INEGI para correr el modelo es que podemos predecir —aunque sea en el corto plazo— la evolución de la PEA = PEAO + PEAD y la tasa de desempleo [$TD = \left(\frac{PEAD}{PEAT}\right) * 100$].

A continuación se muestra un cuadro del cálculo de la PEA con los datos arrojados por el modelo y la gráfica respectiva:

Cuadro 4. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2000. Población económicamente activa de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), millones de personas.

| Tiempo | PEA, CDMX | PEA, área conurbada |
|--------|-----------|---------------------|
| 1 | 3.64 | 3.45 |
| 2 | 3.64 | 3.45 |
| 3 | 3.65 | 3.46 |
| 4 | 3.65 | 3.46 |
| 5 | 3.68 | 3.49 |
| 6 | 3.70 | 3.51 |
| 7 | 3.73 | 3.53 |
| 8 | 3.76 | 3.56 |
| 9 | 3.85 | 3.62 |
| 10 | 3.95 | 3.69 |
| 11 | 4.07 | 3.76 |
| 12 | 4.20 | 3.84 |
| 13 | 4.35 | 3.93 |
| 14 | 4.53 | 4.02 |
| 15 | 4.72 | 4.12 |
| 16 | 4.94 | 4.23 |
| 17 | 4.96 | 4.24 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

Figura 5. PEA de la CDMX y área conurbada, 2000.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 4.

Lo que se puede comentar de la figura 5 es que la PEA refleja el comportamiento de las variables que la componen. Pero sólo podemos confiar de dicha tendencia en el corto plazo.

Por último, en el cuadro 5 mostramos el cálculo de las tasas de desempleo con los datos arrojados por el modelo, así como su gráfica respectiva.

En este cuadro podemos observar con mayor claridad que no podemos confiar en los resultados de largo plazo con este tipo de modelos. Podemos percatarnos de que las tasas de desempleo del tiempo 1 al 7 podrían considerarse razonables, pero del tiempo 8 al 17 se aceleran de manera exagerada. Lo ante-

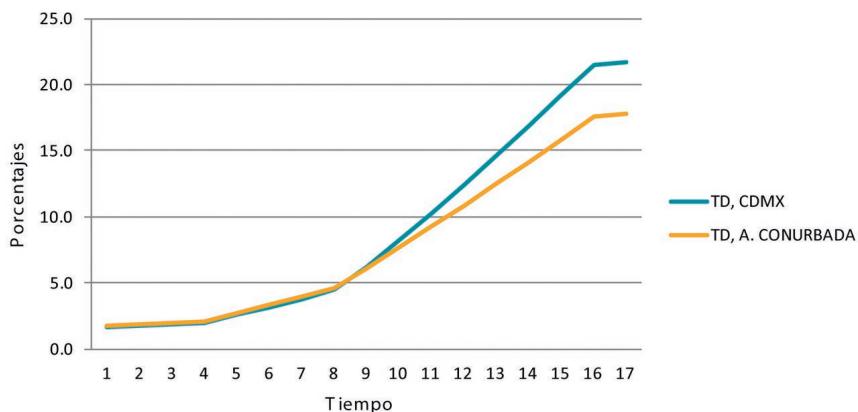
Cuadro 5. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2000. Tasa de desempleo de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), porcentajes.

| Tiempo | TD, CDMX | TD, área conurbada |
|--------|----------|--------------------|
| 1 | 1.6 | 1.7 |
| 2 | 1.8 | 1.9 |
| 3 | 1.9 | 2.0 |
| 4 | 2.0 | 2.1 |
| 5 | 2.6 | 2.7 |
| 6 | 3.2 | 3.4 |
| 7 | 3.8 | 4.0 |
| 8 | 4.5 | 4.6 |
| 9 | 6.2 | 6.1 |
| 10 | 8.2 | 7.7 |
| 11 | 10.2 | 9.2 |
| 12 | 12.4 | 10.8 |
| 13 | 14.6 | 12.5 |
| 14 | 16.9 | 14.1 |
| 15 | 19.2 | 15.8 |
| 16 | 21.5 | 17.6 |
| 17 | 21.7 | 17.8 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

rior se explica porque el E se mantiene constante a través del tiempo, mientras que la PEA y las variables que la componen siguen creciendo.

Figura 6. TD de la CDMX y área conurbada, 2000.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 5.

En la figura anterior podemos ver con más claridad cómo a partir del tiempo 8 se dispara la TD para ambas zonas (centro y periferia), motivo por el cual rei-

teramos que con este tipo de modelos no se puede confiar en las predicciones de mediano y largo plazos. Pero lo que se pierde de horizonte de predictibilidad se gana en la posibilidad de hacer análisis cualitativo y plantear diversos escenarios “jugando” con las condiciones iniciales (valores iniciales de los parámetros y las variables) gracias a que el modelo está programado en computadora.

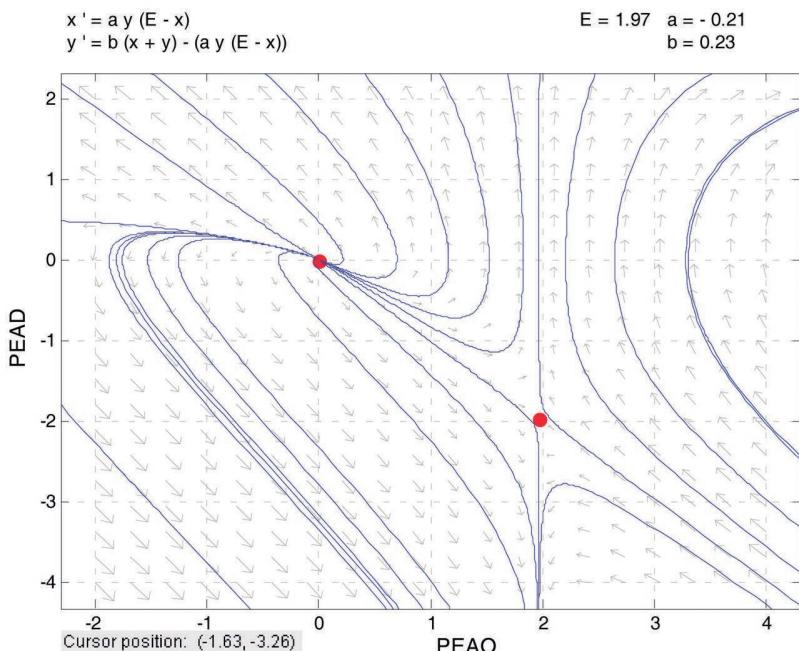
Análisis de estabilidad del modelo con datos del año 2000

En la teoría de sistemas dinámicos se le llama análisis de estabilidad al cálculo de los puntos de equilibrio del sistema de ecuaciones diferenciales acoplado. El determinar cuántos puntos de equilibrio tiene el sistema y de qué tipo son, nos permite enriquecer el análisis cualitativo del fenómeno modelado, en este caso la dinámica de la PEA dado un nivel de E en cada una de las zonas. Se puede hacer el análisis a mano usando papel y lápiz, pero ahora la velocidad de cálculo de las computadoras y la existencia de programas de cómputo permiten calcular los puntos de equilibrio con más precisión y rapidez introduciendo el sistema y los valores de los parámetros en el programa de cómputo Matlab.¹² Debido a que las relaciones de causalidad entre la PEA (PEAO + PEAD) y E se han establecido igual tanto para el centro como para la periferia, entonces su estructura es igual, lo que nos permite adelantar que, en términos generales, ambos sistemas tienen la misma cantidad y el mismo tipo de puntos de equilibrio. Sin embargo, lo que hace diferente la evolución temporal de ambos sistemas son las condiciones iniciales (los valores iniciales de las variables de la población con sus respectivas tasas de crecimiento, la cantidad de empleos dados y el saldo migratorio de la PEAD). Tomando al sistema expresado en términos generales con la ecuación (15) y los valores de los parámetros del cuadro 2, se muestra a continuación la dinámica global del sistema con sus respectivos puntos de equilibrio:

- a) Dinámica global y puntos de equilibrio del sistema 1 (centro) para el año 2000.

En la figura 7 podemos apreciar que el sistema 1 (CDMX) para los valores señalados de los parámetros ($E = 1.97$, $a = -0.21$ y $b = 0.23$) tiene dos puntos de equilibrio, $P_1(0, 0)$ el cual es una fuente y $P_2(1.97, -1.97)$ el cual es una silla. Aquí podemos ver con mayor claridad la dinámica no-lineal que se genera, con la evolución a través del tiempo, de la interacción entre las dos variables de la PEA (PEAO y PEAD). Si bien sabemos que $PEA = PEAO + PEAD$ es una igualdad contable, los valores de la misma están cambiando constantemente con el transcurrir del tiempo en función no sólo de los valores iniciales de las variables sino de los

12 Significa: *Matrix Laboratory*.

Figura 7. Dinámica global. CDMX, 2000.

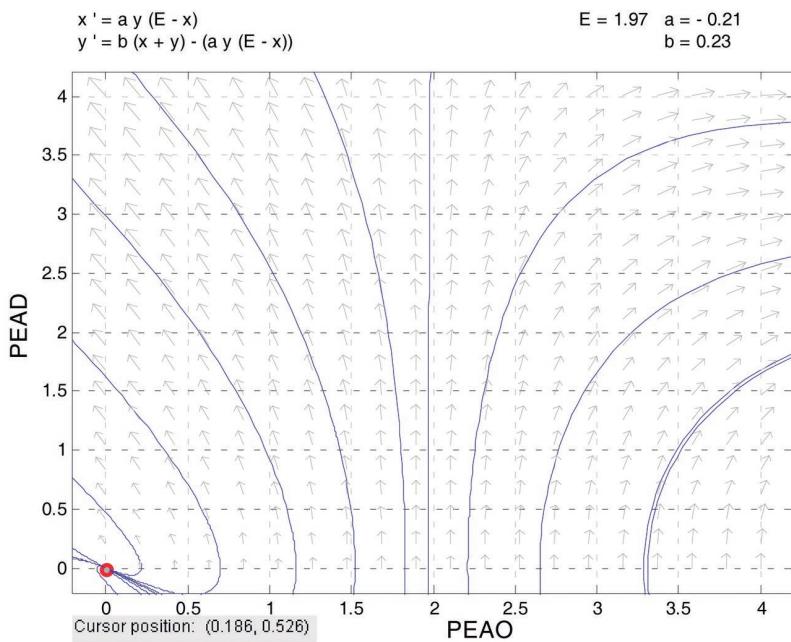
Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 2.

valores que toman los parámetros citados, principalmente el parámetro E (nivel de empleo remunerado), el cual es el parámetro de control del sistema porque dependiendo de su valor cambia el patrón cualitativo del sistema.

Por otra parte, también podemos decir que los dos puntos de equilibrio citados son inestables y se conectan los campos de dirección porque la parte de recha del campo de dirección de la fuente te arroja a la parte izquierda del campo de dirección de la silla. Pero, finalmente, al transcurrir el tiempo, las variables se alejan de los puntos de equilibrio.

Una breve interpretación en función del fenómeno modelado: dado que la PEAO (variable x) y la PEAD (variable y) no pueden tomar valores negativos, el análisis solo se puede hacer en el primer cuadrante (el cuadrante positivo) de la figura 7, de modo que en la figura 8 solo estamos graficando el primer cuadrante (el positivo). Así, podemos ver que cuando x es mayor que 0 pero menor que 2 hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , pero cuando $x = 2$, entonces $y = n$; finalmente, cuando $x > 2$ hay una dinámica directa no proporcional entre x e y . Lo anterior determina la evolución de las variables PEAO y PEAD al transcurrir el tiempo. Es decir, en la gráfica de la figura 8 podemos ver la evolución de

Figura 8. Dinámica global. CDMX, 2000.

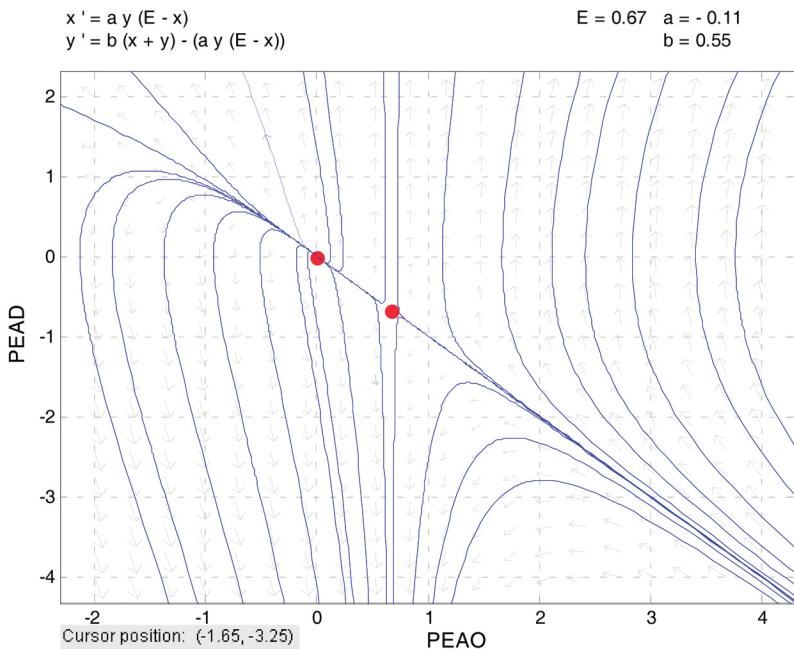


Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 2.

las variables para todos los valores positivos de PEAO entre 0 y 4 millones de personas, y todos los valores positivos de PEAD entre 0 y 4 millones de personas.

- b) Dinámica global y puntos de equilibrio del sistema 2 (periferia) para el año 2000.

En la figura 9 podemos apreciar que el sistema 2 (área conurbada) para los valores señalados de los parámetros ($E = 0.67$, $a = -0.11$ y $b = 0.55$) también tiene dos puntos de equilibrio: $P_1(0, 0)$ también es una fuente y $P_2(0.67, -0.67)$ es una silla. También podemos ver con mayor claridad la dinámica no-lineal que se genera, con la evolución del tiempo, de la interacción entre las dos variables de la PEA (PEAO Y PEAD). Al igual que en el sistema 1, sabemos que $PEA = PEAO + PEAD$ es una igualdad contable, los valores de la misma están cambiando constantemente con el transcurrir del tiempo en función no solo de los valores iniciales de las variables sino de los valores que toman los parámetros citados, principalmente el parámetro E (nivel de empleo remunerado), el cual es el parámetro de control del sistema porque dependiendo de su valor cambia el patrón cualitativo del

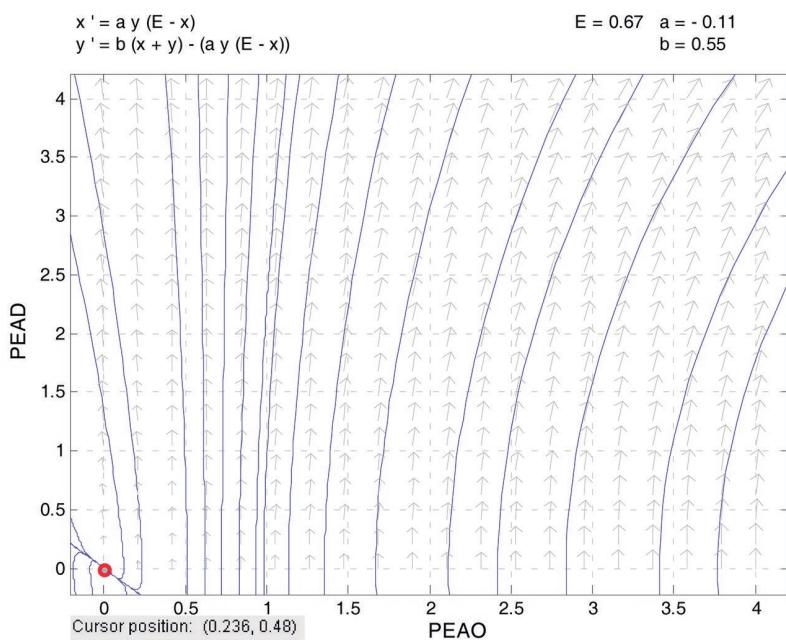
Figura 9. Dinámica global. Área conurbada, 2000.

Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 2.

sistema. También podemos decir que ambos puntos de equilibrio son inestables y se conectan sus respectivos campos de dirección porque la parte derecha del campo de dirección de la fuente te arroja a la parte izquierda del campo de dirección de la silla. Pero finalmente, al transcurrir el tiempo, las variables se alejan de ambos puntos de equilibrio.

Una breve interpretación en función del fenómeno modelado: dado que la PEAO (variable x) y la PEAD (variable y) no pueden tomar valores negativos, el análisis solo se puede hacer en el primer cuadrante (el cuadrante positivo) de la figura 9, de modo que en la figura 10 graficamos solo el primer cuadrante (positivo) de la figura 9. Así, podemos ver que cuando x es mayor que 0 pero menor que 0.67 hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , pero cuando $x = 0.67$, entonces $y = x$; finalmente, cuando $x > 0.67$ hay una dinámica directa no proporcional entre x e y , la cual se acentúa más conforme crece el valor de x . Lo anterior determina la evolución de las variables PEAO y PEAD al transcurrir el tiempo. Es decir, en la gráfica de la figura 10 podemos ver la evolución de las variables para todos los valores positivos de PEAO entre 0 y 4 millones de personas, y todos los valores positivos de PEAD entre 0 y 4 millones de personas.

Figura 10. Dinámica global. Área conurbada, 2000.



Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 2.

Aplicación del modelo con datos del Censo de Población y Vivienda 2010 y los censos económicos 2009 y 2014

A continuación, se presenta el cuadro 7 con toda la información para la aplicación.

Cuadro 7. Centro-periferia 2010.

| Nombre de la variable o parámetro | Variable | Zona 1 (Centro = CDMX) | Zona 2 (Periferia = Área conurbada) |
|---|----------|------------------------|-------------------------------------|
| Población económicamente activa (PEA), millones | P_i | 4.04 | 4.50 |
| Población económicamente activa ocupada (PEAO), millones | x_i | 3.84 | 4.27 |
| Población económicamente activa desocupada (PEAD), millones | y_i | 0.20 | 0.23 |
| Empleo remunerado (E), millones | E_i | 2.16 | 0.67 |
| Tasa de crecimiento de la PEAD, 1990–2000 | a_i | 2.21 | 2.92 |
| Tasa de crecimiento de la PEA, 1990–2000 | b_i | 0.07 | 0.31 |
| Porcentaje de inmigración | i_i | 0.01 | 0.04 |
| Porcentaje de migración | e_i | 0.04 | 0.01 |

Nota: El empleo remunerado es un promedio de los datos de los censos económicos 2009 y 2014.

Fuente, elaboración propia con datos de:

- (1) INEGI, XII Censo General de Población y Vivienda 2000.
- (2) INEGI, XIII Censo General de Población y Vivienda 2010.
- (3) INEGI, Censos Económicos 2009.
- (4) INEGI, Censos Económicos 2014.

Cuadro 8. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2010. Población económicamente activa de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), millones de personas.

| Tiempo | PEAO, CDMX | PEAD, CDMX | PEAO, área conurbada | PEAD, área conurbada |
|--------|------------|------------|----------------------|----------------------|
| 1 | 3.84 | 0.20 | 4.27 | 0.23 |
| 2 | 3.84 | 0.21 | 4.27 | 0.24 |
| 3 | 3.84 | 0.22 | 4.27 | 0.25 |
| 4 | 3.85 | 0.24 | 4.27 | 0.26 |
| 5 | 3.86 | 0.29 | 4.27 | 0.31 |
| 6 | 3.87 | 0.36 | 4.28 | 0.35 |
| 7 | 3.88 | 0.42 | 4.28 | 0.40 |
| 8 | 3.90 | 0.50 | 4.29 | 0.45 |
| 9 | 3.93 | 0.63 | 4.30 | 0.54 |
| 10 | 3.98 | 0.78 | 4.31 | 0.64 |
| 11 | 4.03 | 0.94 | 4.32 | 0.74 |
| 12 | 4.09 | 1.12 | 4.33 | 0.85 |
| 13 | 4.16 | 1.33 | 4.35 | 0.97 |
| 14 | 4.24 | 1.55 | 4.36 | 1.10 |
| 15 | 4.34 | 1.81 | 4.38 | 1.24 |
| 16 | 4.35 | 1.85 | 4.38 | 1.27 |

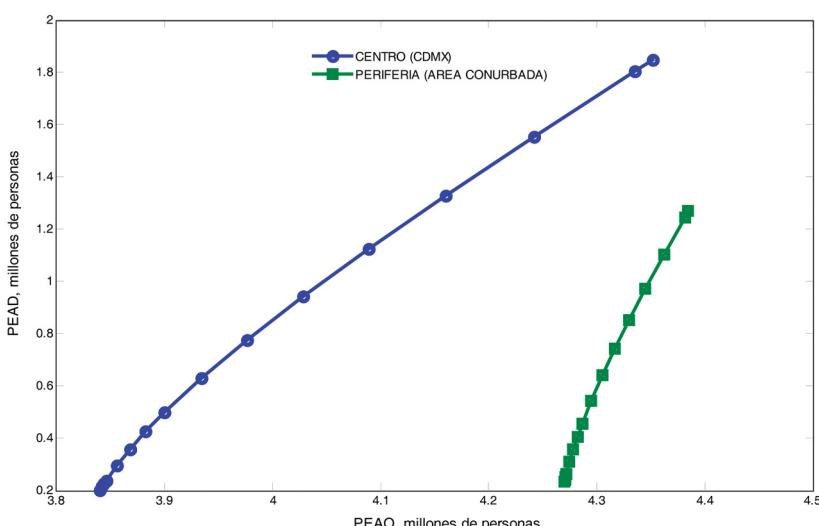
Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

El cuadro 8 muestra los resultados numéricos arrojados por el modelo.

La figura 11 muestra la relación entre las variables PEAO y PEAD. La azul es la CDMX (centro) y la verde es el área conurbada (periferia).

Esta figura nos indica, asimismo, que hay una relación directa no proporcional entre las variables (PEAO vs. PEAD) de ambas zonas, las pendientes de sus res-

Figura 11. ZMCM, 2010. PEAO VS. PEAD.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 7 y el programa MATLAB 7.8.0.

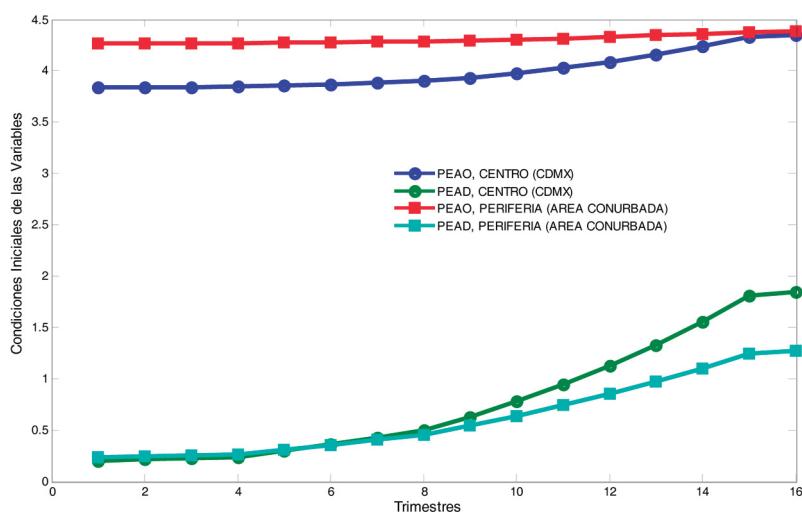
pectivas curvas, también, positivas, pero más inclinadas que en el año 2000. Igualmente, un ejemplo de la lectura de la gráfica es: cuando hay 3.9 millones de PEAO en la CDMX, simultáneamente hay 0.5 millones (500,000) de PEAD (personas desempleadas); cuando hay 4.3 de PEAO en el área conurbada (municipios del Estado de México y Tizayuca), simultáneamente hay, también, 0.5 millones (500,000) de PEAD (personas desempleadas).

Ahora presentamos la trayectoria de las variables, es decir, su evolución a través del tiempo.

La figura 12 nos muestra que ahora, a diferencia del 2000, tanto la PEAO como la PEAD y, en consecuencia, la PEA son mayores en la periferia que en el centro. Igual que en el 2000, el comportamiento de las variables en el centro (CDMX) es casi paralelo, pero a partir del tiempo 4 la PEAD comienza a crecer, primero lentamente, pero después se acelera, y crece más rápido que la PEAO; en el caso de la periferia (área conurbada) se observa algo semejante, pero el ritmo de la PEAD es más pronunciado que el de la PEAO, mostrando un ascenso, cada vez más acelerado, a partir del tiempo 4. De manera análoga a lo que se hizo con el año 2000, se muestra en el cuadro 9 el cálculo de la PEA con los datos arrojados por el modelo y la gráfica respectiva.

Igual que en el caso anterior, lo que se puede comentar de la figura 13 es que la PEA refleja el comportamiento de las variables que la componen. Pero sólo po-

Figura 12. ZMCM, 2010. Trayectorias de las variables.



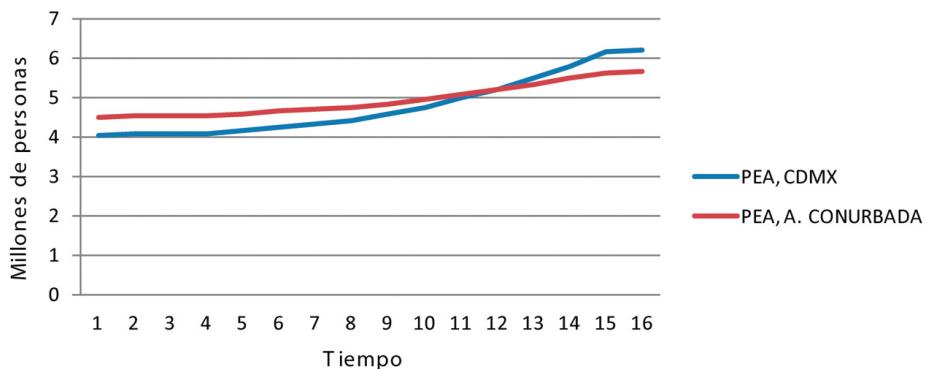
Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 7 y el programa MATLAB 7.8.0.

Cuadro 9. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2010. Población económicamente activa de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), millones de personas.

| Tiempo | PEA, CDMX | PEA, área conurbada |
|--------|-----------|---------------------|
| 1 | 4.04 | 4.50 |
| 2 | 4.05 | 4.51 |
| 3 | 4.07 | 4.52 |
| 4 | 4.08 | 4.53 |
| 5 | 4.15 | 4.58 |
| 6 | 4.22 | 4.63 |
| 7 | 4.31 | 4.68 |
| 8 | 4.40 | 4.74 |
| 9 | 4.56 | 4.84 |
| 10 | 4.75 | 4.94 |
| 11 | 4.97 | 5.06 |
| 12 | 5.21 | 5.18 |
| 13 | 5.49 | 5.32 |
| 14 | 5.80 | 5.46 |
| 15 | 6.14 | 5.63 |
| 16 | 6.20 | 5.65 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

Figura 13. PEA de la CDMX y área conurbada, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 9.

demos confiar de dicha tendencia en el corto plazo. Una gran diferencia con respecto al 2000 es que ahora la PEA es mayor en la periferia que en el centro.

Por último, en el siguiente cuadro mostramos el cálculo de las tasas de desempleo con los datos arrojados por el modelo, así como su gráfica respectiva:

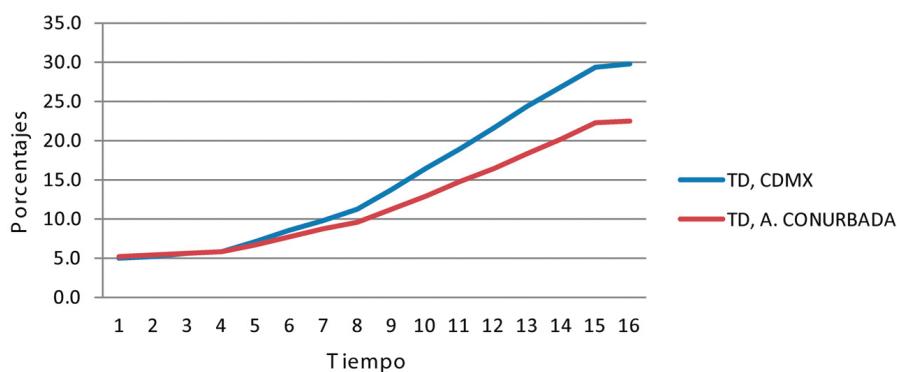
Una vez más, al igual que en el año 2000, en el cuadro 10 podemos observar con claridad que no podemos confiar en los resultados de largo plazo con este tipo de modelos. Podemos percibirnos de que las tasas de desempleo del tiempo 1 al 4 podrían considerarse razonables, pero del 5 al 16 se disparan de manera alarmante. Lo anterior se explica porque el E se mantiene constante a tra-

Cuadro 10. Zona Metropolitana de la Ciudad de México, 2010. Tasa de desempleo de la Ciudad de México (centro) y área conurbada (periferia), porcentajes.

| Tiempo | TD, CDMX | TD, área conurbada |
|--------|----------|--------------------|
| 1 | 5.0 | 5.1 |
| 2 | 5.2 | 5.3 |
| 3 | 5.5 | 5.5 |
| 4 | 5.8 | 5.7 |
| 5 | 7.1 | 6.7 |
| 6 | 8.4 | 7.6 |
| 7 | 9.8 | 8.6 |
| 8 | 11.3 | 9.6 |
| 9 | 13.8 | 11.2 |
| 10 | 16.3 | 12.9 |
| 11 | 18.9 | 14.6 |
| 12 | 21.6 | 16.4 |
| 13 | 24.2 | 18.3 |
| 14 | 26.8 | 20.2 |
| 15 | 29.4 | 22.1 |
| 16 | 29.8 | 22.4 |

Fuente: Elaboración propia con base en los resultados arrojados por el modelo.

Figura 14. TD en la CDMX y en el área conurbada, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en el cuadro 10.

vés del tiempo, mientras que la PEA y las variables que la componen siguen creciendo.

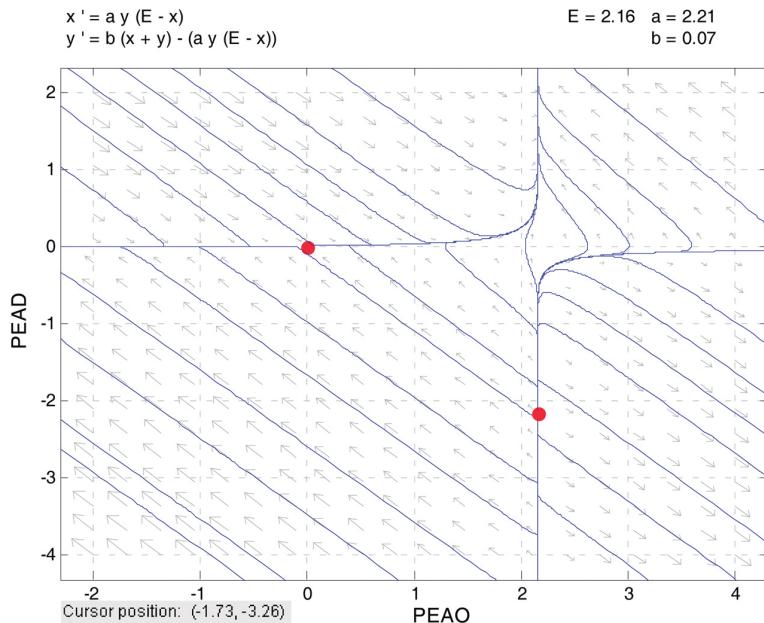
Una vez más, en la figura 14 se ve claramente cómo a partir del tiempo 4 se dispara la TD para ambas zonas, así queda claro que con este tipo de modelos no se puede confiar en las predicciones de mediano y largo plazos. Ya dijimos que lo que se pierde de horizonte de predictibilidad se gana en la posibilidad de hacer análisis cualitativo y plantear diversos escenarios “jugando” con las condiciones iniciales (valores iniciales de los parámetros y las variables) gracias a que el modelo está programado en computadora.

Análisis de estabilidad del modelo con datos del año 2010

- a) Dinámica global y puntos de equilibrio del sistema 1 (centro) para el año 2010.

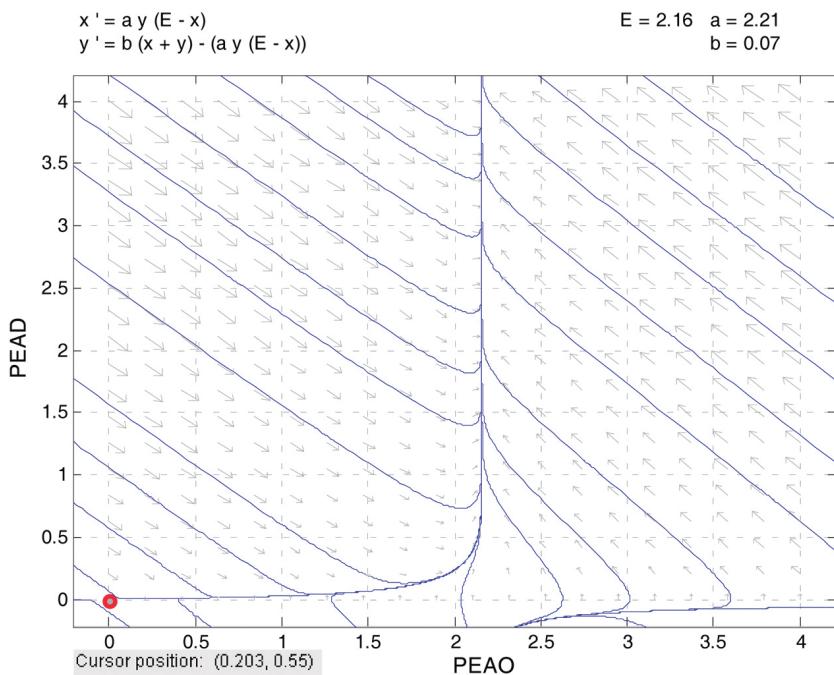
En la figura 15 podemos apreciar que el sistema 1 (CDMX) para los valores señalados de los parámetros ($E = 2.15$, $a = 2.21$ y $b = 0.07$) también tiene dos puntos de equilibrio, donde $P_1(0, 0)$ es una silla y $P_2(2.16, -2.16)$ es una fuente. También podemos ver con mayor claridad la dinámica no-lineal que se genera, con la evolución del tiempo, de la interacción entre las dos variables de la PEA (PEAO y PEAD). Al igual que en los sistemas anteriores, sabemos que $\text{PEA} = \text{PEAO} + \text{PEAD}$ es una igualdad contable, los valores de la misma están cambiando constantemente con el transcurrir del tiempo en función no sólo de los valores iniciales de las variables sino de los valores que toman los parámetros citados, principalmente el parámetro E (nivel de empleo remunerado), el cual es el parámetro de control del sistema porque dependiendo de su valor cambia el patrón cualitativo del sistema. También podemos decir que ambos puntos de equilibrio son inestables y se conectan sus respectivos campos de dirección porque la parte derecha del campo de dirección de la silla te arroja a la parte izquierda del campo de direc-

Figura 15. Dinámica global. CDMX, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 7.

Figura 16. Dinámica global. CDMX, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 7.

ción de la fuente. Pero finalmente, al transcurrir el tiempo, las variables se alejan de ambos puntos de equilibrio.

Una breve interpretación en función del fenómeno modelado: dado que la PEAO (variable x) y la PEAD (variable y) no pueden tomar valores negativos en el mundo real, el análisis sólo se puede hacer en el primer cuadrante (el cuadrante positivo) de la figura 15, de modo que en la figura 16 graficamos el primer cuadrante de la gráfica de la figura 15. Así, podemos ver que cuando x es mayor que 0 pero menor que 2.16 hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , pero cuando $x = 2.16$, en principio, hay una dinámica directa no proporcional, pero después $y = x$; finalmente, cuando $x > 2.16$ hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , la cual se acentúa más conforme crece el valor de x . Lo anterior determina la evolución de las variables PEAO y PEAD al transcurrir el tiempo. Es decir, en la gráfica de la figura 16 podemos ver la evolución de las variables para todos los valores positivos de PEAO entre 0 y 4 millones de personas, y todos los valores positivos de PEAD entre 0 y 4 millones de personas.

- b) Dinámica global y puntos de equilibrio del sistema 2 (periferia) para el año 2010.

En la figura 17 podemos apreciar que el sistema 2 (área conurbada) para los valores señalados de los parámetros ($E = 0.67$, $a = 2.92$ y $b = 0.31$) también tiene dos puntos de equilibrio, donde $P_1(0, 0)$ es una silla y $P_2(0.67, -0.67)$ es una fuente. También podemos ver con mayor claridad la dinámica no-lineal que se genera, con la evolución del tiempo, de la interacción entre las dos variables de la PEAO (PEAO Y PEAD). Al igual que en los sistemas anteriores, sabemos que $\text{PEA} = \text{PEAO} + \text{PEAD}$ es una igualdad contable, los valores de la misma están cambiando constantemente con el transcurrir del tiempo en función no sólo de los valores iniciales de las variables sino de los valores que toman los parámetros citados, principalmente el parámetro E (nivel de empleo remunerado), el cual es el parámetro de control del sistema porque dependiendo de su valor cambia el patrón cualitativo del sistema. También podemos decir que ambos puntos de equilibrio son inestables y se conectan sus respectivos

Figura 17. Dinámica global. Área conurbada, 2010.

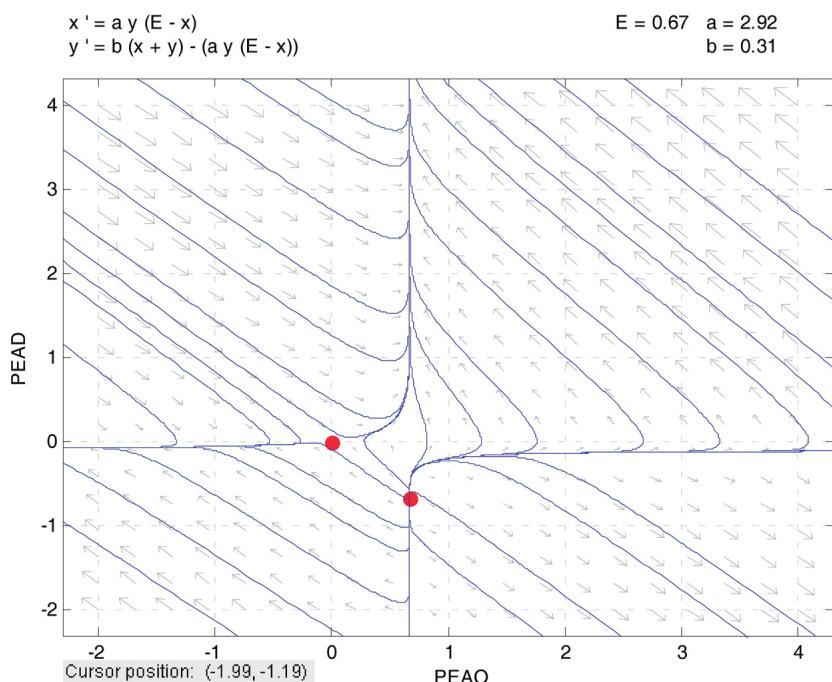
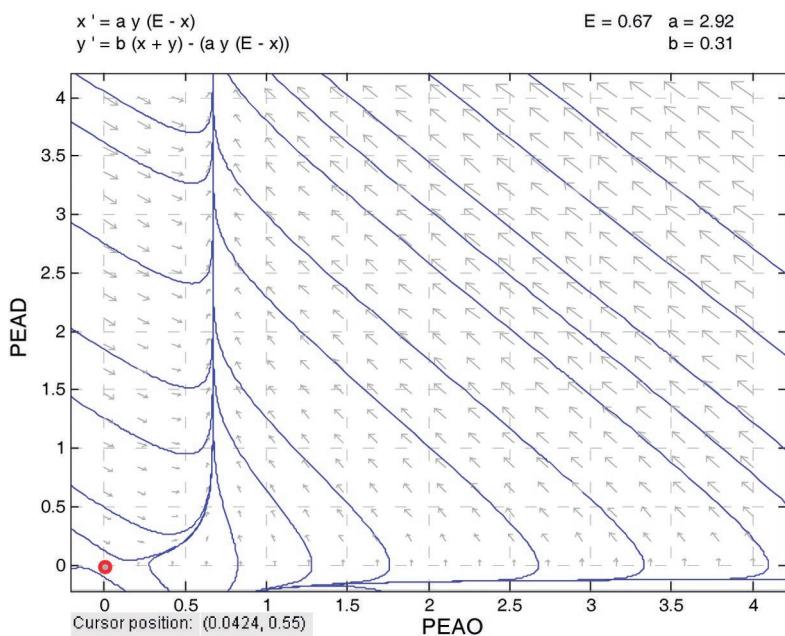


Figura 18. Dinámica global. Área conurbada, 2010.



Fuente: Elaboración propia con base en el sistema (15) y el cuadro 7.

campos de dirección porque la parte derecha del campo de dirección de la silla te arroja a la parte izquierda del campo de dirección de la fuente. Pero finalmente, al transcurrir el tiempo, las variables se alejan de ambos puntos de equilibrio.

Una breve interpretación en función del fenómeno modelado: dado que la PEAO (variable x) y la PEAD (variable y) no pueden tomar valores negativos en el fenómeno del mundo real, el análisis sólo se puede hacer en el primer cuadrante (el cuadrante positivo) de la figura 17, de modo que en la gráfica de la figura 18, graficamos sólo el primer cuadrante de la figura 17. Así, podemos ver que cuando x es mayor que 0 pero menor que 0.67, hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , pero cuando $x = 0.67$, entonces $y = x$; finalmente, cuando $x > 0.67$ hay una dinámica inversa no proporcional entre x e y , la cual se acentúa más conforme crece el valor de x . Lo anterior determina la evolución de las variables PEAO y PEAD al transcurrir el tiempo. Es decir, en la gráfica de la figura 18 podemos ver la evolución de las variables para todos los valores positivos de PEAO entre 0 y 4 millones de personas, y todos los valores positivos de PEAD entre 0 y 4 millones de personas.

A manera de conclusión

- 1) Abordando el objeto de estudio, la ZMCM, diversos investigadores de diferentes disciplinas han encontrado un patrón semejante de evolución de la misma, el cual también se ha presentado en otras ciudades del mundo. Así en la primera etapa predominan los flujos de carácter rural–urbano; en la segunda rural–urbano y rural–suburbano; en la tercera, los desplazamientos urbano–suburbano y urbano–urbano, incluida la migración por etapas a través de la jerarquía urbana, o bien los movimientos entre ciudades de la misma jerarquía; y en la cuarta etapa, los flujos desde los núcleos centrales y sus anillos circundantes hacia su *hinterland* no–urbano (Tuirán 2000). De acuerdo con esto, la ZMCM se encuentra en la tercera fase, es decir, en los desplazamientos urbano–suburbano y urbano–urbano. Para la modelación del fenómeno, dividimos a la ZMCM en dos partes donde el centro es el D.F. (ahora Ciudad de México), y la periferia toda la zona conurbada, ello hizo posible aplicar el modelo a la migración de un porcentaje de la población económicamente activa desocupada (PEAD) entre estas dos zonas urbanas.
- 2) Los modelos dinámicos están basados en la física cuántica, en donde descubrieron la existencia de sistemas lejos del equilibrio termodinámico, es decir, sistemas que intercambian energía, información o materia con su entorno, lo cual depende de si se trata de un sistema físico, químico, biológico o social, los cuales pueden ser modelados con la teoría de sistemas dinámicos, que es una rama moderna de la matemática. Estos sistemas tienen ciertas características: su estado cambia al transcurrir el tiempo como resultado de una dinámica no–lineal y esta tiene una parte local (puntos de equilibrio a nivel local) y otra global (la dinámica que se da a nivel global como consecuencia del tipo de puntos de equilibrio, la relación entre ellos y la orientación de sus campos de dirección); irreversibilidad del tiempo; la creación de sus propias reglas de comportamiento en el siguiente momento de la evolución en el tiempo y, por lo tanto, sensibilidad a las condiciones iniciales y un horizonte de predictibilidad de corto plazo. Lo asombroso de este tipo de sistemas es que son creados con reglas deterministas, pero a la hora de correr el modelo (programado en computadora), este se comporta de una manera aparentemente aleatoria, y así es como se presenta el llamado caos determinista; dicho de otro modo, son sistemas que tienen una parte ordenada y otra desordenada. Ahora bien, dentro de la naturaleza la mayoría de los fenómenos son dinámicos y no–lineales, ello incluye a los sistemas humanos, y, dentro de estos al sistema socioeconómico. Por lo anterior, Ilya Prigogine se percató de que los sistemas dinámicos son los más adecuados para modelar los sistemas humanos.

- 3) La abstracción que hicimos del fenómeno modelado es muy sencilla, aunque el fenómeno del mundo real no solo lo identificamos como complejo sino también como complicado. No obstante, gracias a la herramienta metodológica usada aquí fue posible encontrar un patrón de evolución cualitativo del sistema que nos permite comprender mejor el fenómeno modelado. Pero no sólo eso, gracias a que el modelo se pudo programar en computadora, dado que no tiene una solución analítica (resolverlo a mano con papel y lápiz), es perfectamente factible plantear varios escenarios cambiando las condiciones iniciales (los valores de las variables, los parámetros y los porcentajes de migración). En ese sentido, el modelo es una especie de “laboratorio de experimentación”.
- 4) Por último, queda abierta la posibilidad de hacerle extensiones al modelo, al igual que Peter M. Allen, para incluir de manera más explícita variables de la economía como la inversión, o siendo más ambiciosos, hasta variables que nos ayuden a incluir aspectos relacionados con la sustentabilidad. Todo ello, siempre y cuando no se pierda el principio de parsimonia de Occam, el cual dice que “las cosas esenciales no se deben multiplicar sin necesidad”; llevando el principio a la modelación matemática el reto es hacer un esfuerzo de abstracción para encontrar las variables esenciales del fenómeno y establecer la relación funcional entre ellas de la manera más sencilla y correcta. En ese sentido vale la pena recordar la siguiente cita: “Si uno establece las ecuaciones diferenciales erróneas cuando modela el movimiento de la luna, entonces, por muy correctamente que se aplique el cálculo, obtendrá cosas absurdas.” (Stewart 2012, 13). Para fortuna nuestra, la forma en que se estableció el sistema de ecuaciones diferenciales no lineales acopladas en el modelo de la presente investigación no arrojó cosas absurdas; al contrario, creemos que modela de manera razonable la evolución en el tiempo de las variables relacionadas (PEAO y PEAD) dada una cantidad de empleos; y dada la igualdad contable $PEA = PEAO + PEAD$, si sumamos las dos variables relacionadas, también nos dará la evolución en el tiempo de la PEA, lo cual nos da una idea de cómo se comportaron estas variables, las cuales se pueden verificar en los censos de población y vivienda del año 2000 y el del año 2010, pero también podemos tomar como referencia los conteos de población y vivienda del año 2005 y el del año 2015. Pero, para ello primero tendríamos que obtener información de los censos citados y de algunos censos económicos, y después agregar algunas variables como la PEA, la PEAO y la PEAD, que el INEGI las publica desagregadas, para poder compararlas con las tendencias del modelo. Si los datos oficiales publicados por INEGI se aproximan a las tendencias obtenidas por el modelo aquí propuesto y aplicado, podemos con-

cluir que tenemos un buen modelo del mundo real, lo que nos permitiría confiar en sus resultados para comprender y explicar mejor el fenómeno estudiado, y, de ser posible, también confiar en las simulaciones resultantes de la manipulación de las condiciones iniciales, en particular del parámetro de control que es el empleo remunerado (*E*). □

Referencias

- Allen, Peter M. *Cities and regions as self-organizing systems. Models of complexity*. Amsterdam: Gordon and Breach Science Publishers, 1997.
- Batty, Michael. *Cities and complexity. Understanding with cellular automata, agent-based models, and fractals*. Cambridge, Ma.: MIT Press, 2007.
- Cochó, G. y Martínez-Mekler G. «Complejidad en comportamientos universales en las artes y las ciencias.» En Flores J. y Martínez-Mekler G. (comps.), *Encuentros con la complejidad*. México: Siglo XXI Editores, 2011.
- Corona, Reina et al. *Dinámica migratoria de la Ciudad de México*. México: Tu ciudad, 1999.
- Garza, Gustavo. «La ciudad como fuerza productiva: desarrollo económico y competitividad.» En Sobrino Jaime (coord.), *Competitividad urbana. Una perspectiva global y para México*. México: El Colegio de México, 2010.
- Gershenson, C. «¿Cómo hablar de complejidad?» *Llengua, Societat i Comunicació*, núm. 11, 2013. <http://revistes.ub/index.php/LSC/lsc@ub.edu>.
- Golubitsky, Martin y Dellnitz Michael. *Algebra lineal y ecuaciones diferenciales con uso de Matlab*. México: International Thomson Editores, 2001.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. *XI Censo de Población y Vivienda 1990*, México, 1990.
- . *Censos Económicos 1999*, México, 1999.
- . *XII Censo de Población y Vivienda 2000*, México, 2000.
- . *Censos Económicos 2004*, México, 2004.
- . *Censos Económicos 2009*, México, 2009.
- . *Censo de Población y Vivienda 2010*, México, 2010. <http://www.censo2010.org.mx/>
- . *Censos Económicos 2014*, México, 2014.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Secretaría de Desarrollo Social y Consejo Nacional de Población (INEGI–Sedesol–Conapo). *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2005*, Aguascalientes, México, INEGI, 2007.
- Jacobs, Jane. *La economía de las ciudades*. España: Península, 1971.
- . *Muerte y vida de las grandes ciudades*. Madrid: Capitán Swing Libros, (2011) [1961].

- Krugman, P. *The self-organizing economy*. EUA: Wiley-Blackwell, 1996.
- Malthus, Thomas R. *Ensayo sobre el principio de la población*. México: Fondo de Cultura Económica, (1998) [1798].
- Mansilla, R. *Actas de economía y complejidad I*. México: CEIICH-UNAM, 2015.
- Martínez-Mekler G. «Una aproximación a los sistemas complejos.» *Ciencias*, núm 59, julio-septiembre, UNAM, 2000, 6-9.
- Miramontes, O. «Los sistemas complejos como instrumentos de conocimiento y transformación del mundo.» En Santiago Ramírez (coord.) *Perspectivas en las teorías de sistemas*. México: Siglo XXI-CEIICH, UNAM, 1999.
- Miramontes, P. «El estructuralismo dinámico.» En Santiago Ramírez (coord.) *Perspectivas en las teorías de sistemas*. México: Siglo XXI-CEIICH, UNAM, 1999.
- Negrete, M. Eugenia. *El centro de México. Evolución, límites y oportunidades para el desarrollo regional*. México: El Colegio de México, 2008.
- . «Las metrópolis mexicanas: conceptualización, gestión y agenda de políticas.» En Garza, Gustavo (coord.), *Los grandes problemas de México. Desarrollo urbano y regional (II)*. México: El Colegio de México, 2010.
- Partida, Virgilio y Anzaldo, Carlos. «Escenarios demográficos y urbanos de la Zona Metropolitana del Valle de México.» En *Procesos metropolitanos y grandes ciudades*. México: UNAM, Miguel Ángel Porrúa, Cámara de Diputados, 2004.
- Pérez-Cacho, S. *Modelos matemáticos y procesos dinámicos: un primer contacto*. Valladolid, España: Universidad de Valladolid, Secretariado de Publicaciones e Intercambio Editorial, 2002.
- Prigogine, I. *La estructura de lo complejo*. España: Alianza Editorial, 1987.
- Ruiz, Concepción y Régules de, Sergio. *El piropo matemático*. México: Lectorum, 2005.
- Sánchez, Adolfo. *Panorama histórico de la Ciudad de México*. Ciudad de México: UNAM-Porrúa, 2004.
- Sobrino, Jaime. *Competitividad de las ciudades en México*. México: El Colegio de México, 2003.
- Stewart, Ian. *¿Juega Dios a los dados?*, España: Colección Booket, 2012.
- Tuirán, R. «Tendencias recientes de la movilidad territorial en algunas zonas metropolitanas de México.» En *La situación demográfica de México*, México: CONAPO, 2000.
- Unikel, Luis, Ruiz Ch. Crescencio y Garza V. Gustavo. *El desarrollo urbano de México. Diagnóstico e implicaciones futuras*. México: El Colegio de México, 1976.
- Verhulst, Pierre F. «Recherches mathématiques sur la loi d'accroissement de la population.» En *Memoires de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-Arts de Belgique*, núm. 20, Bruselas, 1845, 1-32.

- Weaver, W. «Science and complexity.» *American Scientist*, 36, 1948, 536-541.
- Zaragoza, J. *Un modelo sobre la dinámica de la población y el empleo aplicado a cuatro estados representativos de la República Mexicana*, tesis de maestría. Universidad Autónoma de la Ciudad de México, México, 2011.

Ricardo Mansilla Corona*

Prof. Rosario Nunzio Mantegna



ROSARIO NUNZIO MANTEGNA es uno de los fundadores del campo de investigación interdisciplinaria conocido como econofísica. Comenzó a trabajar en el análisis y modelado de sistemas sociales y económicos con herramientas y conceptos de la física estadística en 1990. Publicó el primer trabajo de investigación sobre el comportamiento de un mercado financiero utilizando conceptos de la física estadística en una revista de física en 1991. Es también coautor del primer artículo de análisis de series de tiempo financieras en la revista *Nature* en 1995. Publicó, en 1999, junto con H. Eugene Stanley, el libro *Introducción a econofísica: correlaciones y la complejidad en finanzas*, que es probablemente el libro más citado sobre el tema en el idioma inglés. En el momento de escribir estas líneas el libro tenía más

de 3,770 citas. Rosario Mantegna obtuvo su posición de profesor asociado en 1999, fundando el Observatorio de Sistemas Complejos del Departamento de Física de la Universidad de Palermo, donde aún es profesor. También es, hoy en día, profesor honorario en el University College de Londres, Reino Unido, y es miembro (externo) de la facultad del Complexity Science Hub de Viena, Austria.**

Rosario Nunzio Mantegna is one of the founders of the field of interdisciplinary research known as econophysics. He began to work in the analysis and modeling of social and economic systems with tools and concepts of statistical physics already in 1990. He published the first paper investigating a financial market using concepts of statistical physics in a physics journal in 1991. He also co-authored the first work analysing and modeling financial time series in the journal *Nature*

* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades–UNAM.

** El prof. Mantegna aceptó esta entrevista a petición del editor de esta revista.

in 1995. He published in 1999 with H. Eugene Stanley the book *Introduction to econophysics: Correlations and complexity in finance*, which is probably the most quoted book on the subject in the English language. At the time of writing these lines, the book had more than 3,770 citations. Shortly after Rosario Mantegna obtained his associate professor position in 1999, he founded the Observatory of Complex Systems within the Department of Physics of the University of Palermo, where he is still a professor. He is also currently a honorary professor at University College London, UK, and he is member of the external faculty of the Complexity Science Hub Vienna, Austria.***

Prof. Mantegna, I dare say that you are one of the “Founding Fathers” of econophysics. Could you tell us about the motivations that inclined you to this area of research?

I started to use statistical physics concepts in the analysis and modeling of economic and financial complex systems just after the completion of my PhD in Physics. This was at the end of 1989. In my PhD research project, I studied and used concepts and tools of stochastic processes, deterministic chaos, and noise modeling. My PhD thesis was an experimental thesis dealing with a quantum system subjected to a driving signal having both a periodic and a stochastic part. The study of the role of well-controlled stochastic processes in the dynamics of real systems suggested me to perform a similar type of analysis and modeling in systems of high social interest as the financial markets. The idea was along the line of what was developed during those year at the Santa Fe Institute in the USA, where physicists and economists joined their effort to model a large variety of complex systems including complex systems of social and economic origin. For example, the interest towards the so called 1/f noise motivated scholars as Per Bak or Wentian Li to analyze the spectral density of return of important stock indices such as the Dow Jones 30. In other areas of statistical physics, scholars like Mike Schlesinger and Joseph Klafter were obtaining results about the so-called Lévy walks, *i.e.*, random walks characterized by long memory and large jumps. These cultural influences convinced me that it was the time to attempt analysis and modeling of economic and social complex systems with the background of statistical physics, chaos theory, and agent based modeling.

In your early work you expressed an interest in the distribution of price differences in the markets. Despite the results obtained by you, E. Stanley and other researchers, this seems to be still an open problem. Can you tell us your perspective on this issue?

I fully agree with your view that the problem of the exact nature of the process describing the stochastic dynamics of return of a financial asset traded in an

*** Prof. Mantegna agreed to this interview at the request of the editor of this journal.

efficient (or close to efficient) financial market is still today an open problem. In my opinion, one major difficulty concerns the fact that the time series of return of a financial asset is not a simple stationary process and therefore the real nature of the stochastic process is quite sophisticated. Econometrics has suggested that one approach could be the one of auto-regressive stochastic processes. Econophysics has put in emphasis the fact that wide metastable scaling regimes can be observed. In fact, one of the major contribution of econophysics has been to show that both leptokurtosis and finite second moments are simultaneously present ending up in the presence of a wide metastable scaling regime.

My view about the return dynamics of a financial asset is that such dynamics reflect all the information that the market process. This information is in some cases exogenous and correctly interpreted by the economic actors trading in the market but in other cases it might be endogenous and/or just misinterpreted. In other words, in financial markets noise and signals are mixing the one with the other and the economic actors try to disentangle this mixing in an environment that minimizes the arbitrage opportunity. This highly complex process of information processing is reflected in the statistical properties of price dynamics making the return distribution an indicator which is quite rich and sophisticated to be described by just a simple stochastic process.

Reviewing your most recent researches, I note that there is an emphasis on multiagent models and complex networks. Could you tell us a little about these recent projects?

Yes. My recent research considers the investment profile of single investors in different conditions. With the term single investor, I mean a single legal entity such as, for example, a company, a bank or a single individual. The reason why I got interested to this type of studies originates from the observation that social and economic complex systems are heterogeneous complex systems. The different economic actors acting in a financial market are different actors. Economic theory deals with heterogeneity present in economic systems by subsuming differences within the idealized concept of the representative agent. My view is that there are many economic, financial, and social problems where the heterogeneity of the system is an essential aspect that cannot be washed out with a kind of "mean field" approach. When this is the case, other concepts are more appropriate. One concept is the concept of ecosystem and ecological diversity. Another possible approach is to use instrument that directly reflects or can deals with the heterogeneity of the system. One of these instruments is certainly the concept of complex networks. Complex networks are heterogeneous and in fact they have been extremely useful in describing and modeling economic systems especially when problems about the stability of a global heterogeneous system are considered.

Ettore Majorana was may be the most brilliant student of Enrico Fermi, an outstanding physicist and as I understand it a scientific figure very dear to you. Which were in your opinion the most important contributions of Majorana in the interdisciplinary confluence between physics and economy?

Ettore Majorana was one of the major figures in the group that clustered around Enrico Fermi in Rome in the late twenties and thirties of the last century. Among the members of this exceptional group (exceptional not only for Italian standards but also for world standards) he was certainly the most original one in the sense that he was selecting scientific problems only based on his own scientific interest and independently of the fact whether problems also were of interest or not for the research community of his time. This unusual attitude is reflected in the fact that his contributions to science are extremely original and completely out of context during the period when they were proposed. His major contribution concerns the proposal of a new form of a Dirac's equation predicting the possibility of a neutral particle that is simultaneously a particle and an anti-particle. Particles of this class have not yet been discovered but they are today (after 80 years of their theoretical introduction) searched and considered both in neutrino's theory and modeling (the so-called Majorana's neutrinos) and in condensed matter. The other original conclusion was about the observation that quantum mechanics description of irreversible phenomena of single quantum entities (such as a single atom) show that the deterministic description of physics is valid only for a limited set of phenomena and a statistical description is unavoidable for a large set of physical phenomena. This is today acknowledged by most physicists after the development and successes of quantum mechanics and after the results obtained in the field of deterministic chaos but was a quite original point of view in the thirties of last century.

Despite decades of interdisciplinary research in econophysics, the economic theory taught in universities does not seem to have received much influence from it. Do you think that in the future there will be a convergence towards economic theories closer to the spirit of econophysics?

My view is that econophysics is a hybrid science, *i.e.*, a science that is covering a research area at the interface between the two disciplines of economics and physics. In my opinion, the present time is a time of hybrid sciences producing many research areas and research communities covering a scientific field between two established disciplines. Other examples are bioinformatics, neurosciences, and computational social sciences. Within this view, I do not expect that economic theory will change its paradigms and research styles or correspondingly that physics will change its own. The process I see is a process where mutual influence between the two disciplines is fostered by the presence of a re-

search community working at the interface between the two major ones. For example, econophysicists promoted the empirical investigation of economic problems starting from rich and detailed economic and financial data also in the absence of an underlying micro founded theory. This was explicitly discouraged by economists in the past decades. Recently, this is not more the case and in fact leading economic journals are nowadays considering articles where data analysis is a predominant part of the study and prestigious universities have data mining courses within the curriculum of economics. Proximity based and association networks are today investigated and visualized in the research groups of many central banks and are becoming popular within econometrics. I think these changes have also been due to the practice and results obtained by econophysics. On the other hand, some problems that have been of primary interest for statistical physicists have originated from problems originally posed in economics or finance. One prominent example is the so-called minority game that originated from the “El Farol bar” problem. Another influence from economics to statistical physics is the attention to devote to the procedures of statistical validation. Statistics is present at an elementary level in most physics problems and the interaction with economics and finance has stimulated many physicists to achieve a much better control of the statistical tests they perform in their analyses. ■

Octavio Quesada García*

El lenguaje visual antiguo mesoamericano y el pensamiento interdisciplinario

Resumen | El presente trabajo persigue extender la descripción de un objeto de estudio, el lenguaje formal de las imágenes sagradas en Mesoamérica, mediante su abordaje dentro de la teoría de sistemas complejos de Rolando García. Lo anterior parece adecuado al propósito ya que el sistema muestra regularidades diversas, tanto entre sus elementos constitutivos, como en las maneras de relacionarse con otros subsistemas de lo que sería el sistema complejo mayor (JcM). Los compromisos de congruencia epistémica y sistemática que allí aparecen permiten proponer un modelo simple del JcM. Finalmente, la definición misma de *funcionalidad* o expresión como totalidad organizada del sistema, nos lleva a sugerir una noción de lo que pudiésemos llamar *pensamiento interdisciplinario*, uno que inicia con la comprensión *integrada* de la estructura y propiedades del JcM en su entorno, capaz de enunciar todos sus rasgos desde una sola visión explicativa.

101

The Mesoamerican ancient visual language and the interdisciplinary thinking

Abstract | This work is intended to broaden the description of the visual system used in Mesoamerican sacred images by approaching the object into the framework of Rolando García's complex systems theory. This seems methodologically appropriate since the language shows different patterns among its constitutive elements, as well as in the manner in which it interrelates with other complex subsystems of what would be the major complex system (JcM, Spanish acronym). The obligations of epistemic and systemic coherence existing within this framework, allow us to propose a simple model of the JcM. Finally, the concept of *functionality* as an expression of the system as organized totality leads us to propose a notion of what we might call *interdisciplinary thinking*, or that which commences with the comprehensive understanding of the structure and resulting properties of the JcM in its milieu and is capable of enouncing all its features from a single explanatory vision.

Palabras clave | teoría de sistemas complejos; pensamiento interdisciplinario; cultura antigua mesoamericana; imágenes antiguas mesoamericanas

Recibido: 8 de mayo de 2017. Aceptado: 24 de agosto de 2017.

* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades–UNAM.

Correo-e: oquesada@unam.mx

Key Words | theory of complex systems; interdisciplinary thinking; ancient Mesoamerican culture; ancient Mesoamerican images

Introducción

En una línea de investigación que atraviesa ya 30 años, gran cantidad de datos y observaciones realizadas en muestras inusualmente grandes, señalan la existencia de un conjunto de fenómenos en las fuentes arqueológicas plásticas mesoamericanas (escultura, pintura, orfebrería, plumaria, arquitectura) provenientes de todas sus épocas y regiones con expresiones patentes de alta cultura (olmecas a mexicas, 1500 aC–1521 dC). Su estudio multidisciplinario ha propuesto que todos esos fenómenos son: 1) los elementos en operación de un sistema de comunicación visual que los gobierna a todos, 2) el cual muestra alcances panmesoamericanos, y, cuyo discurso principal, 3) es la creación del mundo y el papel del hombre en dicho acto fundacional. El propósito de este breve trabajo es ahondar en la reflexión del sobredicho lenguaje, mediante su visualización dentro de la teoría de sistemas complejos y lo que voy a llamar aquí *pensamiento interdisciplinario*.

El sistema y sus elementos

Este sistema de comunicación visual aparece con la cultura olmeca (*ca.* 1500–100 aC) en donde se le encuentra plenamente desarrollado (Bonifaz Nuño [RBN] 1989; 1992, 47–76; Quesada y Castañeda 2011). Desde el inicio del Pre–Clásico Medio y en adelante se observan los dos subsistemas de expresión de significado con que cuenta, los elementos de cada uno de ellos, y todas las relaciones estructurales que hasta hoy han podido ser resueltas (Quesada y Castañeda 2011).

De manera sucinta, el primer subsistema está compuesto por cuatro naturalezas expresadas en términos plásticos figurativos, es decir, tomando como base de su representación la apariencia que tienen en la realidad. Son la humana, la ofidía, la del ave y la felina (RBN 1992, 27–32; Quesada 2016). Todas aparecen como figuras enteras o mediante partes que les son peculiares, por lo que comportan intrínsecamente su naturaleza. Son los casos, por ejemplo, de manos, corazones y cráneos humanos, de alas y plumas de las aves, de la lengua bifida de las serpientes, o de la zarpa y la piel manchada del jaguar (figura 1). Pero esto también ocurre cuando las naturalezas se combinan en una sola figura, situación notable en este sistema, pues es una de las formas de estilización para representar lo divino (RBN 1986; 1996, 33–48, 59–99; Quesada 2009; 2016, 59–74, 216–447). En todos esos casos, una de las naturalezas actúa como sus-

tantivo mientras que las otras aparecen como “adjetivaciones”. Se observan entre muchas combinaciones, hombres alados o con lengua bífida, o con zarpas de felino en vez de pies y manos, o serpientes con plumas o piel de jaguar (figura 2) (RBN 1992, 31–32; 1996). Las naturalezas también pueden coexistir como sustantivos en una sola composición. Entre todas las combinaciones se estima que el conjunto de dos serpientes puestas en relación con un ser humano es, por mucho, la más frecuente (RBN 1989; Quesada 2009; Quesada y Castañeda 2011). El grupo de dos serpientes opuestas, de hecho, aparece como una entidad en sí misma (RBN 1986, 29–49; 1992, 33–38). Constituye una unidad visual aislada, por ejemplo, en dinteles, tronos, o flanqueando el acceso principal de los templos; puede encontrársele también en tocados, pectorales o distintos tipos de pendientes. Pero en cada caso, son seres humanos quienes visten tales objetos, ascienden esos templos, ocupan los asientos y atraviesan los vanos de sus santuarios. Así, dos serpientes opuestas y un ser humano en el centro constituyen el arreglo más prominente en el universo visual mesoamericano, y de acuerdo con sus contextos, aquel con la mayor carga de sentido. El ave, sea en su expresión cabal como sustantivo, o como alas, pico, garra de tres dedos o lujosos penachos de plumas que igual la representan, suele ocupar la cima de las composiciones (RBN 1992, 31).

Sobre tales construcciones de *signos naturalistas*, aparecen en diferentes niveles de la estructura los elementos del segundo sistema de expresión de significado: los *signos abstractos*.¹ Es este un breve conjunto de cuatro signos de estructura simple, cuyas definiciones principales radican en el número de elementos gráficos que los componen, y en las relaciones espaciales que tales subunidades guardan entre sí; de ahí sus nombres: signos Uno, Dos, Tres y Quincunce (figura 3) (Quesada 2006; 2016; RBN 1995, 13–32). Con frecuencia se inscribieron mediante formas muy condensadas, reducidos a su mínima definición, pero su representación abarca la más vasta diversidad de apariencias y escalas. De los nombrados signos Dos y Tres, su abundante presencia ha sido discernida en cuatro y cinco *familias* de variantes, respectivamente (Quesada 2006, 24–29). Estas *familias* son las distintas formas de manifestación de cada signo. Entre ellas *siempre* ocurre un cambio de relación entre las subunidades del signo. Por ejemplo, las expresiones del signo Dos incluyen cuando los dos elementos son formas polarizadas que aparecen 1) como imágenes en espejo, 2) girados 180° uno con respecto al otro, 3) girados igual y unidos en una forma continua, y, 4) cuando los dos

1 El nombre <signo> aquí es utilizado en el primer sentido que le asigna el Diccionario de la Lengua Española (RAE) como el “objeto, fenómeno o acción material que, por naturaleza o convención, representa o sustituye a otro.”, y, como <signo lingüístico>, o, “unidad mínima de la oración, constituida por un significante y un significado.”

elementos son formas no polarizadas; todos ellos son signos Dos, y en conjunto constituyen la expresión integral del signo. Es probable que las *familias* representen significados o funciones de segundo orden, subsiguientes al significado y/o función inicial de los signo Dos y Tres (Quesada y Castañeda 2011, 68–70).

Del signo Uno, por su parte, los estudios han mostrado su papel central en la construcción de las imágenes antiguas, particularmente en aquellas relacionadas con el ámbito divino. En nuestro trabajo sobre la cultura olmeca, encontramos que de 851 piezas, 796, el 93.5%, muestran alguno de los cuatro signos aquí aludidos; solo 6 piezas (0.7%) contienen inscripciones que podrían tenerse por “otro signo”, mientras que el resto (5.8%) carece por completo de signos abstractos (Quesada y Castañeda 2011, 44–45, tabla III). Al evaluar la presencia absoluta de cada signo (independientemente de la confluencia de los restantes) encontramos que el Uno está en 93.8% de esas 796 piezas, seguido del signo Dos (53.4%), el Tres (40.2%) y el Quincunce (24.1%) (Ib.). En esta misma muestra la incidencia absoluta del signo Humano, con mucho el mayoritario en el subsistema de signos naturalistas, “solo” alcanza el 81.4%. El signo Uno, así, con su 93.8% de presencia absoluta despliega supremacía frente a todos los signos restantes. Entre los olmecas fue posible establecer que el signo Uno aparece en las composiciones incluso “antes” que los signos naturalistas, pues algunos rasgos, como la boca o los ojos, aparecen hechos de estos signos, principalmente de Unos. Pero la observación principal es que la presencia de esos signos, ya sea en rasgos o en atavíos, trasmuta las entidades en manifestaciones del ámbito divino. Y en la cúspide de dicho ámbito aparece la imagen de Tláloc; del que todo número empequeñece ante su presencia continua, a lo largo de contextos, períodos y culturas. Por razones opuestas a la casualidad, es justamente en su imagen omnipresente donde signos naturalistas y abstractos confluyen y se ordenan en una sola construcción. Un ser humano —cuasi desnudo o lujosamente ataviado— al que dos serpientes opuestas y cuatro signos abstractos le hacen los rasgos del rostro y los atavíos que viste. Pero en todos los casos las serpientes estilizan sus ojos y su boca —muchas veces solo eso—, dotándolo de su apariencia identitaria (figura 4) (RBN 1986; Quesada 2009; 2016, 59–74).

El análisis formal de una gama extensa de sus imágenes ha producido una hipótesis general acerca de su significado (RBN 1986). La Hipótesis Cosmogónica se funda en dos argumentos complementarios, uno iconográfico y otro textual. El primero, firmemente establecido en el objeto de estudio, describe con precisión y fidelidad los rasgos definitorios de la deidad. El argumento textual, por su parte, al coincidir con las piezas casi literalmente en dos pasajes cruciales, revela lo que ocurre en ellas: el principio de la creación del mundo, y el papel del hombre en el fundamental evento [de Jonghe 1905, 25; 28-29 (*Hystoire du Mexique*, de André Thévet, ca. 1543, f.84-f.85)]. Según esta hipótesis, la entidad

representa la integración del sumo poder, triple, a punto de ejercerse y de crear el universo. Dos dioses convertidos en serpientes y el ser humano aparecen en el instante previo a su realización; fue este último el detonante del acto primordial, y de su cuerpo se hará surgir todo lo creado (RBN 1986). El hombre y la divinidad quedan, así, indisolublemente ligados; lo están desde el origen y en adelante por la existencia misma de todo lo creado. Si de su cuerpo se hicieron el Cielo y la Tierra, todo lo existente resulta, de una manera radicalmente implícita, humano. En esta concepción del mundo, el hombre se visualiza a sí mismo como su iniciador y el encargado de su preservación. Pero es el orden universal, la estructura del cosmos misma, la que se preserva mediante su sacrificio, pues es la creación del mundo la imagen que lo acompaña. Participante crucial por voluntad divina, él honrará dicha alianza cuidando que todo siga existiendo. Difícil será encontrar explicación de más vastos y heroicos alcances para el sacrificio humano, que aquella que se desprende de semejante cosmovisión.

El lenguaje visual antiguo como sistema complejo

De entre las distintas concepciones actuales sobre la complejidad y la interdisciplina, voy a utilizar la teoría de sistemas complejos de Rolando García como espacio teórico para esta disertación (García 2000; 2006), y bajo las definiciones y categorías que en sus trabajos propone, intentaré ahondar en la descripción del lenguaje que vengo estudiando. Utilizaré este referente teórico entre otras razones debido a su posición epistemológica, no obstante, tanto en la descripción del sistema como en la construcción de la teoría de su funcionamiento, he de utilizar cuanta noción o concepto me sea necesario, mientras sea congruente con todo el aparato demostrativo, y se encuentre en total coherencia con el marco teórico utilizado.

Al lenguaje visual mesoamericano es más apropiado visualizarlo como subsistema complejo (sfc) de un sistema complejo (fc) mucho mayor, y al cual pertenece; de quien forma parte indisoluble y dentro del cual cumple cierta función específica. Si por sistema complejo mayor (fcM) aquí entendemos, el recorte de la realidad más amplio que puede reconocerse con claridad y fundamentos, para contener la unidad de la que nuestro sistema-objeto forma parte, dicho fcM , en nuestro caso, sería el antiguo ser social indígena mesoamericano, el cual, durante más de tres mil años protagonizó una era completa de expresiones culturales, varias de ellas en grado de alta civilización —como la maya, la teotihuacana, la zapoteca, las de Veracruz, la olmeca o la mexica. Esta gran agrupación, debe decirse, no es una suposición hipotética del trabajo. Todo lo contrario, es la visión de conjunto que vienen levantando los estudios arriba citados, respecto a la unidad civilizatoria que habrían constituido las cerca de 40

tradiciones culturales que hoy llamamos Mesoamérica. Las bases de semejante conclusión han sido: 1) La resolución del problema formal implícito en toda imagen de Tláloc y la hipótesis explicativa de su significado, y, 2) la demostración de que todas las imágenes divinas están construidas con un solo lenguaje visual, común a Mesoamérica. A lo cual habría que añadir, naturalmente, la gran cantidad de concordancias y afinidades entre las culturas, que han dado sustento al nombre regional de Mesoamérica. Planteado así el problema veamos primero cómo este lenguaje visual puede ser tenido como sistema complejo él mismo, para entonces proponer cuál sería su posible *funcionamiento* como totalidad organizada —en tanto que *sfc*— así como un primer esbozo de la estructura del *fcM* al que pertenece.

Ya hemos visto cómo en este lenguaje cada subsistema de signos tiene modos específicos de expresión: el de signos naturalistas aparece como *sustantivos* y *adjetivaciones*, mientras que el de signos abstractos lo hace mediante familias de variantes. Esto último, no obstante, es válido para los signos Dos y Tres mas no parece ser el caso de los signos Uno y Quincunce, los que, hasta donde sabemos, carecen de *familias* de variantes. Al estudiar el sistema entre los olmecas, del análisis exhaustivo del contenido sígnico de 890 piezas, concluimos que estos signos constituyen cinco categorías léxicas: 1) sustantivos (humano, serpiente, ave y felino); 2) adjetivos (humanizado, serpentizado, hecho ave y felinizado); 3) nódulo de cohesión (signo Uno); 4) proceso o acción: (signo Quincunce), y, 5) complementos: (signos 2m, 2n, 2o, 2p, y 3q, 3r, 3s, 3t y 3u). En este esquema los complejos sintagmáticos se integrarían conceptualmente de la siguiente manera: primero es el Uno y (después) el sustantivo que lo porta; luego las adjetivaciones y los signos abstractos —iniciando siempre por el Uno— quienes se reiteran de distintas maneras en cada composición. Los sustantivos, comenzando por el central indiscutible en Mesoamérica, el ser humano, llevan Unos en diversos sitios fundamentales de su estructura. Aparecen sobre sus ejes de simetría y en otras líneas de fuerza de la composición. Puede encontrarse solo, o formando conjuntos con los otros tres signos abstractos. Mediante tales conjuntos se construyen los objetos que portan y visten las entidades divinas, hechos literalmente de signos. Pero la inscripción de signos abstractos en las imágenes no obedece, como podría de aquí inferirse, a necesidades gráficas o a problemas de composición. El análisis exhaustivo de la muestra olmeca permitió discernir la secuencia en que se agregan en las composiciones. Al estudiar la distribución excluyente de todas las combinaciones posibles en las 796 piezas que los presentan, encontramos que el conjunto mayor es Solo 1 (30.3%), seguido de 1-2 (19.6%), 1-2-3 (15.5%) y 1-2-3-5 (12.6%), los cuales hacen juntos casi el 80% de la muestra. Después vienen las otras combinaciones del 1, como 1-3 (6.7%), 1-2-5 (4.1%) y 1-5 (3.1%). En comparación —y aparte de Solo 3 (2.4%)

cuyo caso es peculiar—, las restantes combinaciones aparecen marginalmente en este universo: Solo 5 (1.5%), Solo 2 (1%), y notablemente 2–3 (0.5%), 3–5 (0.6%), 2–5 (0.1%) y 2–3–5 (0%). “Toda la distribución —concluimos entonces— indica dos categorías bien discernidas, los monumentos que tienen inscrito el signo Uno (94%), y los que carecen de él (6%).” (Quesada y Castañeda 2011, 46).

Como puede percibirse, cada signo, comenzando por el Uno, aparece y reaparece en las composiciones pero bajo patrones y frecuencias específicas, todo lo cual nos habla de funciones distintas y particulares. Muestran, además, un diverso pero finito número de maneras de relacionarse entre ellos. La descripción en su conjunto nos llevó a proponer que tratamos con un lenguaje de tipo aglutinante, el cual construye los sintagmas iniciando por el Uno y el sustantivo que lo presenta, continúa con las adjetivaciones, los complementos y sus combinaciones de variantes, y concluye con el proceso o acción que representaría el Quincunce. El signo Uno podría participar en todas las fases del proceso.

En un trabajo reciente (Quesada 2016), observamos en una muestra extensa de monumentos ($n = 5,000$), que los signos naturalistas y abstractos muestran cuatro maneras generales de relacionarse entre sí. La primera es cuando se agregan signos naturalistas a otros signos naturalistas, como en los casos de los sustantivos y sus adjetivaciones. La segunda es cuando ciertas partes de signos naturalistas están hechas de signos abstractos, como por ejemplo en los ojos y la boca de Tláloc, compuestos de signos Uno. Estas dos categorías son de gran relevancia, ya que con ellas se construyen las imágenes divinas. Pero existen así mismo infinidad de casos donde signos abstractos están hechos de signos abstractos, de igual o distinta identidad del que los contiene; por ejemplo, Quincunes cuyos cuatro puntos periféricos son Unos, o Quincunes. Y ocurre la situación, muy frecuente también en este lenguaje, en donde mediante signos naturalistas se inscribe en el plano visual anterior un signo abstracto. Esto sucede, por ejemplo, cuando dos bocas serpentinias o dos serpientes enteras encontradas forman el signo Uno (Quesada 2016, 41–47). Más importante todavía para esta discusión, es que tales formas de relación no son excluyentes; todo lo contrario, suelen coexistir y operar simultáneamente en distintas partes de las piezas. Estas relaciones podrían pensarse como cuatro tipos de *estructuras sintácticas* mediante las cuales el sistema integraría sentido. El más sobresaliente de ello es, a todas luces, la trasmutación de seres terrenos en otros de naturaleza divina. De hecho, la noción de divinidad y de lo divino sería una propiedad emergente de la funcionalidad como totalidad organizada del jcM, en tanto que producto de un conjunto necesario de premisas y supuestos, organizados y coherentes entre sí, del cual el conocimiento cosmogónico sería el subsistema encargado de nutrirlo y organizarlo, y el lenguaje visual su manera de transformarlo en representación concreta.

Como se ve, este sistema pareciera tener más rasgos de sistema complejo de los que pudiera carecer. Cuenta con múltiples y diversos elementos, interdefinidos y en interacción continua, necesarios todos para lograr el *funcionamiento* integral del conjunto, lo cual se alcanza mediante las relaciones que establecen los elementos entre sí, así como por las propiedades resultantes de tales interacciones. Pero debe tenerse en mente que este lenguaje, como las esculturas o pinturas mismas, no son otra cosa que el medio de transmisión visual de cierto conocimiento, fundamental para la existencia ontológica del ser social mesoamericano, o *scM*.

Y ¿cuáles serían —cabría preguntarse— los rasgos de los que carece este sistema para no ser tenido cabalmente como *sc*? ¿Por qué no podría o no debería ser tenido como tal, y mucho menos, por tanto, como subsistema de un *sc* mayor? ¿Podría tratarse de un sistema no complejo y nada más? Recordemos primero que los sistemas complejos son un paradigma utilizado para describir ciertos fenómenos que ocurren en la realidad, y que muestran un conjunto de propiedades no encontradas en sus elementos individuales, como la capacidad de amortiguar dinámicamente cambios del entorno capaces de perturbar la función del sistema. ¿Cumple el lenguaje visual antiguo con todas estas premisas enunciadas en la teoría de sistemas complejos aquí adoptada para ser considerado como tal? (RG 2006, 39–66, 181–190). Todas las obras materiales humanas son justamente materia que ha sido desplazada de su equilibrio termodinámico hasta un nuevo estado, alejado de él y estable, activamente sostenido, con forma o función reconocible y significante. Las expresiones plásticas son casos elocuentes del hecho: de una roca amorfa se hacen surgir regularidades y formas reconocibles que codifican significados y que, al relacionarse de maneras específicas, representan ideas y conceptos. Pero esto en sí mismo no constituye un *sc* bajo ninguna definición. Conceptualmente restringido a las imágenes materiales, este lenguaje visual daría la impresión de carecer de rasgos cruciales tales como la desestructuración de los sistemas debido a cambios en las Condiciones de Contorno, o la propiedad de re-estructurarse, ya sea en bajo grado para mantener su estado estacionario normal, en una suerte de adaptación de corto plazo, o bien que lo desplace a otro nuevo como respuesta adaptativa de mediano a largo plazo. Otra carencia principal, podría argüirse, serían las premisas que presuponen que estos son sistemas abiertos, en continuo intercambio de materia, energía y/o información con el entorno para mantener activamente su estado estacionario, desplazado del equilibrio termodinámico al que tiende siempre y de acuerdo con su propia entropía.

Hay dos vertientes a tomar en consideración, me parece, en donde podrían configurarse respuestas para estas legítimas reflexiones críticas. El primero es la dimensión diacrónica del fenómeno o historia de la estructura, donde los cambios

en las Condiciones de Contorno y las transformaciones en el lenguaje encargado de representar la divinidad toman rasgos congruentes con la auto-organización, lo mismo que las necesarias des-estructuraciones y re-estructuraciones que habrá sufrido para alcanzar el estado en que lo conocemos. El segundo aspecto a considerar es la manera de concebir la construcción de una imagen divina, y el tipo especial de conocimiento encerrado en ellas, el cual se encuentra directamente relacionado con la función específica que cumplen las imágenes en el sistema entero. Conviene entonces reformular la pregunta: si tratamos con un sistema complejo, subsistema a su vez de otro mayor, ¿cuál habría sido el papel del primero en el último?, ¿cuál su *funcionamiento* o propósito general como totalidad organizada, mediante el que establecería relaciones funcionales con otros subsistemas, generando con ello las propiedades emergentes peculiares del sc mayor?

Digamos sobre este aspecto que consideramos la producción material de las piezas tan solo episodios del acto de construir una imagen divina, lo cual requeriría, como en toda sociedad jerarquizada, primero hallarse habilitado socialmente para hacerlo, luego pensarla, comprender, decidir, diseñar, ejecutar, supervisar, concluirla, además de conocer dónde, cuándo, para qué y cómo utilizarla. Es evidente que la construcción así entendida es una obra esencialmente colectiva, cuyas coordinación y decisiones sobre el proceso entero estarían reservadas a personas autorizadas socialmente para ello. El verdadero constructor de una de estas imágenes habría sido, entonces, una persona de conocimiento con la autoridad moral y legitimidad social necesarios para llevarla a cabo, conocedor de sus trascendentales papel y contenidos. Porque su función trata del resguardo, reflexión, refrendo y transmisión (al menos) de los conocimientos relacionados con la creación universal, con el origen, naturaleza y composición de las cosas del mundo —cielo y tierra— y por encima de todo, con el papel fundamental del ser humano en la totalidad del acto creativo. Esto incluye el antes, el durante, y el consecuente después del suceso (esto es, el pasado y el porvenir). Los primeros dos períodos están descritos en la *Hystoire du Mechique*; el tercero, puede deducirse bajo esta luz, es la voluntad del hombre de vivir en radical congruencia con semejante origen, bajo el sentido de responsabilidad que él mismo deriva para sí del acto. Más alegre convicción que fatal destino, este conjunto de creencias podría hallarse en la médula misma de la cosmovisión indígena. Mediante ellas fundamentaría toda su construcción filosófica y moral, y desde allí establecería relaciones sustentadoras con otros subsistemas. Lo anterior ya va haciendo claro que: 1) los distintos subsistemas se encuentran en diferentes niveles o profundidades (funcionales) de la estructura, y, 2) que habría un subsistema en el núcleo básico de la misma, capaz de ejercer una suerte de rectoría conductora sobre los otros, proveyendo tanto el impulso inicial, como la dirección y el sentido último de toda la construcción.

Un modelo del sistema complejo mayor (scM)

De acuerdo entonces con lo hasta aquí visto, un modelo simple de la estructura del scM podría ser como sigue. Habría un subsistema cuyo *funcionamiento* como totalidad organizada sería armonizar la actividad de los restantes subsistemas, es decir, las diversas instituciones sociales del antiguo ser social indígena, y la manera en que se encontraban funcionalmente relacionadas. Una representación podría ser la siguiente (figura 5). Hay un núcleo de creencias que representa el acto creacional del mundo, y el papel jugado por el hombre antes y durante el desarrollo completo del mismo. Tiene en el exterior un anillo adjunto que lo envuelve completamente, y que representa las consecuencias inmediatas de dicho acto sobre el universo recién creado. Entre ellas se encontrarían, al menos, la división del Cielo y de la Tierra a partir de dos mitades humanas, definiendo con ello un arriba y un abajo; la suerte de alianza que se constituye desde entonces y mientras lo creado exista, entre los dos dioses omnipotentes y el hombre; y también que cielo y tierra, como todo lo creado, le sean al hombre consustanciales por provenir de su cuerpo mismo. Estos mitos cosmogónico y fundacionales constituirían el conjunto nuclear, ordenador del sistema complejo mayor. Y ya que el mundo tiene dos mitades porque de dos mitades nació, con tal esquema podríamos representar el espacio donde el scM habría edificado progresivamente sus instituciones sociales (o subsistemas), todas derivadas, propulsadas por el núcleo rector y en natural congruencia con él. Pero en este modelo existiría una superficie exterior y última, integradora del sentido de toda esa construcción humana, esto es, la expresión de su *funcionamiento* como totalidad organizada.

Un rasgo del sistema es que el núcleo generador de instituciones sociales es de naturaleza mental y cognitiva (es una creencia), capaz por tanto de nutrir con toda su potencia a cada una de ellas; cada construcción, así, es una duplicación funcional del núcleo. En dos hemisferios alrededor de él, entonces, se acomodarían en distintos niveles todos los subsistemas que sincrónicamente hayan ocurrido, organizados mediante articulaciones funcionales capaces de cruzar distintas profundidades de la estructura. Puede preverse la existencia, momento a momento, de papeles *complementarios* entre subsistemas de propósitos afines, sinérgicos o de contrapeso; *sustentadores*, cuando el *funcionamiento* de un scS sea determinante para la existencia u operación de otro(s) subsistema(s); y papeles *climáticos*, o subsistemas que se encuentran sostenidos por la estructura entera, y sean parte consustancial del *funcionamiento* del scM. Y acaso habrá también subsistemas cuyo funcionamiento atraviese toda la estructura y por sí mismo alcance los límites externos del dominio; su importancia principal será evidente. Así, la construcción entera representaría acaso la *cosmovisión*, entendida esta como principio epistémico con el que el hombre cultural rige to-

dos sus actos y del que impregna toda su obra, pero elevado a una dimensión ontológica y fundacional, con lo cual alcanza su función y sentido últimos como construcción epistémica; la cosmovisión, pues, como principio, expresión y fin último de las cosas.

Considerando todo lo anterior, el jcM vendría a ser un mosaico de sociedades diversas, tanto étnica (en su origen) como lingüísticamente, quienes constituyeron unidad cultural alrededor de un sistema único de creencias, basado en el papel del hombre en la creación del mundo. Desde esta óptica, cada expresión cultural individual (olmeca, maya, mexica, etc.) sería un grupo lingüístico más, ejerciendo en cierto tiempo y espacio el mismo sistema de creencias. Esto incluiría, crucialmente, el conocimiento cosmogónico, sus consecuencias y naturalmente su representación. Pero no serían las diversas culturas subsistemas del jc que aquí proponemos, pues nunca fueron ellas sus elementos interdefinibles. Todo lo contrario, cada una es un grupo etnolingüístico singular, constituyéndose a sí misma en jc, ya que el sistema se expresó completo en todas. Lo que aparece en el horizonte es fascinante: pueblos enteros distantes entre sí por sus orígenes y temporalidades, alejados por barreras geográficas y lingüísticas, se ven cohesionados todos por una fortísima relación de creencias capitales que todos ejercieron, constituyendo la portentosa unidad cultural que atravesara tres mil años. No hay interdefinibilidad sistémica entre mayas, teotihuacanos y zapotecas, sino una coexistencia bajo lo que pareciera —y esto es la parte medular de la propuesta— una sola *Cosmovisión*, basada en la concepción cosmogónica donde el ser humano juega el papel crucial y determinante. Se trata de una idea radicalmente humanista que atravesara todas las culturas, uniéndolas como a las cuentas de un sartal (RBN 1992, 9–13, 19–36). Pero al hacerlo, todas formaron algo que tampoco estaba en cada una de ellas, pues a tal factor ontológico de cohesión hay que añadir (al menos) un vasto historial de intercambio sostenido de conocimientos y recursos, y otro de movimientos migratorios, tanto desde el exterior distante, atraídos por ese inmenso complejo civilizador, como entre las diversas regiones culturales, y al interior de cada una de ellas.

Volvamos al modelo propuesto de la estructura del jc mayor o ser social antiguo mesoamericano, específicamente a su región más externa, integradora de su *funcionamiento* como totalidad organizada. Al recorrer esa superficie se percibe una sensación inesperada y distinta de la que se experimenta al estudiar los sistemas de manera individual; los fenómenos que desde allí se observan son los mismos, pero la función que podemos adjudicarles con seguridad sistémica a las cosas resulta nítidamente distinta. Cuando aislamos un objeto con propósitos de comprensión, nos enfocamos directa y literalmente en sus elementos constitutivos, y a través del entendimiento de sus funciones respectivas intentamos inferir sus propiedades y funcionamiento general. En el supuesto

sistémico, al considerar el objeto desde un inicio subsistema de un sc mayor, se hace un recorte lógico de posibilidades funcionales, debido a los compromisos de coherencia e interdefinibilidad con los restantes ssc y para con el scM. Porque la función general del ssc es, por definición, *la resultante de sus articulaciones funcionales*, directas o indirectas, con todos los otros subsistemas. La interdefinibilidad se vuelve aquí casi tangible; permite “ver” las funciones mediante la percepción de quiénes la sustentan, quiénes (cuándo y por qué) hacen sinergia con ella o, si fuese el caso, de qué manera se sostendría en la superficie más externa de la hemiesferia estructural correspondiente. Las ventajas metodológicas se vuelven claras. La precondition de coherencia entre subsistemas, y sobre todo, con el *funcionamiento* del sc mayor, hace una acotación funcional que somete a prueba cada porción o segmento de la estructura que se pueda sugerir exista. Una incongruencia mayor entre alguna hipotética función de cualquier ssc con ella, le restaría posibilidades de veracidad a la hipótesis más organizada.

Pero más allá ahora del fenómeno específico, ¿qué hacemos en realidad cuando nos situamos en la superficie exterior del modelo y nos movemos sobre ella, ya no para verificar requerimientos de coherencia que conceden grados de verdad, sino solo para *experimentar* recorrerla? Ocurre que al hacerlo se percata uno, primero, de su tersa continuidad. Porque todo lo que se acomoda debajo de ella se encuentra organizado funcionalmente para que esa continuidad ocurra. Y ocurrió. Existió ese ser social del que si bien desconocemos muchos aspectos, también conocemos otros y muy prominentes. ¿Qué pasa si desde un principio nos planteamos el estudio de un objeto como subsistema de un sc?, o mejor, ¿qué pasa si desde un principio nos planteamos el estudio del sc del que nuestro objeto forma parte, y lo hacemos mediante el estudio de caso de nuestro objeto? Si el sc existe en la realidad, es decir, hay relaciones funcionales entre los componentes del objeto que permiten considerarlo como tal, las ventajas metodológicas se vuelven múltiples y diversas. Nos obliga a formular hipótesis que necesariamente guarden congruencia con otros subsistemas mejor comprendidos y de propósito semejante, por ejemplo, pero dificultaría la inserción de una interpretación funcional incongruente con otros subsistemas relacionados. Aunque también sería posible que ocurriera el caso opuesto, en donde una hipótesis fundada fuera incongruente con *funcionamientos* de otros subsistemas previamente establecidos. La incongruencia y su contradicción tendrían que ser resueltas, pero su existencia en sí misma indicaría un aspecto irresuelto, de ahí su utilidad. Intentar visualizar desde el inicio de la investigación la identidad —no los límites—del sc mayor, a pesar de los huecos de conocimiento que podamos tener acerca de él y sus subsistemas, contribuye a visualizar el papel o función de nuestro objeto dentro del sistema entero, a situarlo estructuralmente en él. De hecho, el recorte de la realidad bajo un pensamiento sisté-

mico de este tipo, obliga desde un principio a reconocer las relaciones (flujos) que se establecen con el entorno, y a tratar de incorporar en el recorte de la realidad aquellos elementos que sustenten las relaciones funcionales más significativas del sc mayor (RG 2013, 48–51).

Los sistemas complejos y el pensamiento interdisciplinario

Pero al hablar de aquella superficie imaginaria, de tersura hecha de sentido y coherencia perfecta, ¿qué significa en realidad la imagen de recorrer su superficie? Desde el punto de vista cognitivo implicaría no solo comprender a buena profundidad las construcciones o instituciones sociales que abajo se organizan, en el sentido de conocer sus elementos y principios rectores, sus mecanismos, objetivos y funciones, y tener una buena hipótesis acerca de sus respectivos *funcionamientos*. Implicaría, sobre todo, entender las relaciones establecidas entre los subsistemas (relaciones entre relaciones), y comprender las propiedades que de ellas emergen. Dentro de esta teoría, cualquier elemento o función que se hipotetize forme parte del sistema, debe obligadamente cumplir con un compromiso de coherencia sistémica, representado en el modelo por su curvatura externa y última. Por ello, todo elemento o función del sc debe cumplimentar tres niveles de congruencia: al interior del ssc donde ocurra, entre los distintos subsistemas, y con el scM. Respetar rigurosamente dichos compromisos para conceder grados de verdad a los constructos rinde frutos depurados. Estos serían la base para intentar una suerte de “reorientación epistémica” de nuestro propio punto de observación, que buscara ubicar la posición epistémica donde se sitúa el autor de todos esos objetos sociales, lo cual nos permitiera, por así decirlo, observarlos radicalmente de frente y sin sesgos. Dicha posición epistémica, imposible de conocer *a priori*, tendría que ser una reelaboración sostenida y progresiva, derivada de nuestra creciente comprensión del objeto. La congruencia generalizada que se lograra establecer entre subsistemas desde una misma posición fundamental que los explicara a todos, podría ser un criterio del “alineamiento epistémico” hasta entonces alcanzado.

Así, liberados de los prejuicios inmediatos, flexibilizados en los juicios epistémicos, reorientando de continuo nuestra propia visión de cada construcción social al concebirlo como parte de una red continua y coherente, estudiamos uno de los subsistemas en particular (pero no aisladamente): el lenguaje visual para expresar la divinidad. Son las imágenes divinas un fenómeno que, como objeto de cualquier representación neural, toman sus significados trascendentales del contexto en donde se les coloca. Por ello, recorrer la superficie ideal del modelo implica lograr integrar, primero, los distintos *funcionamientos* de cada subsistema en el *funcionamiento* mayor, donde cada fenómeno solo ad-

quiero su cabal sentido en tanto que parte del sistema, e incluso que la función de cualquiera de ellos pudiera deducirse a partir de la comprensión del último. La continuidad pulimentada de la superficie exterior del modelo sería, entonces, producto de la congruencia operativa de todos los subsistemas constitutivos, funcionando en armonía para que dicha continuidad finalmente exista. Si el punto ontológico de partida es la Creación Universal, con el hombre como impulso y materia para llevarla a cabo, hemos de plantearnos comprender cómo sus restantes instituciones sociales son congruentes con dicho principio, y la manera en que cada una contribuyó, a su vez, con el *funcionamiento* del sc mayor. Pero lo que se construye con el conjunto de instituciones sociales, lo que finalmente integran entre todas podríamos acaso llamarlo *Cosmovisión*, tenida esta no solo como una cierta visión peculiar del mundo, cuanto lo que a partir de ella se construye; más una resultante orgánica y totalizadora que solo su principio, abarcaría el proceso existencial entero.

Levantado el entramado del sistema, reconocidos sus límites externos, podemos ahora deslizarnos sobre la superficie ideal y continua de un solo fenómeno; y aunque nos movamos sobre las distintas instituciones sociales que lo constituyen, no dejamos ya nunca la interpretación unitaria en donde se alojan todas. Y no obstante que desconozcamos elementos, funciones o relaciones de cada subsistema (incluso subsistemas enteros que pudiésemos estar por conocer), con la región ya establecida como más probable de la estructura mayor, y sobre todo con el esfuerzo permanente de “alineamiento epistémico”, esperamos poder levantar un constructo unitario más apegado a la realidad que habrá sido el fenómeno bajo estudio, aún, subrayo, con todos los espacios de conocimiento que haya por cubrir. Y cuando ya colocados en esa superficie ideal comencemos finalmente a desplazarnos bajo esas y otras reglas cada vez mejor definidas, acaso por primera vez estaremos en posición de comenzar a construir lo que aspiraría a ser llamado *pensamiento interdisciplinario*; aquel que visualiza cada cosa como parte funcional, *a fortiori*, de una estructura organizacional mayor; que prioriza la congruencia general a cualquier explicación de las partes que sea incongruente con ella, pero solo como precondición para comenzar su ejercicio; uno que parte de la noción del conjunto mayor y presupone el conocimiento, aún parcial pero bien establecido, de la estructura operante. Cuando finalmente, en la medida en que nuestros movimientos de traslado parten desde una posición única y unitaria, jerárquicamente superior por ser más amplia y abarcadora, capaz de explicar lo que ocurre “localmente” en cualquier parte del sistema, y no solamente el paso de un subsistema a otro, acaso estaremos pensando, en realidad y por primera vez, interdisciplinariamente. No se trata solo de encontrar congruencias entre, digamos, la arquitectura, la escultura y la pintura en ciertas partes del sistema. Se persigue incluir en una sola cosmovi-

sión la presencia, actividad y funciones de cada institución social comprendida en él. Esto es un rasgo central de los sistemas complejos: muestran un *funcionamiento* derivado directamente de la presencia, actividad e interacciones funcionales de todos sus subsistemas constitutivos. Su establecimiento teórico, por tanto, demanda haber alcanzado muy buena comprensión de su composición y estructura, así como de las dinámicas a las que esta última se encuentre sujeta; una elevada capacidad de síntesis basada en la comprensión del objeto y, derivado de todo ello, una buena hipótesis. ¿Qué nivel de comprensión del objeto necesitamos para establecer la coherencia continua de su modelo? Esto naturalmente dependerá del tipo de sistema o conjunto de fenómenos bajo estudio, y de la pregunta de investigación que se busca contestar. Pero cuando en un estudio de caso particular de cierto subsistema, digamos la arquitectura en Mesoamérica, el conocimiento disciplinar alcanzado se fusiona en una visión general y única con la escultura, la agricultura, la observación del cielo, las creencias, la vida ritual y finalmente las costumbres, entonces comprenderemos interdisciplinariamente la arquitectura. Cuando para hablar de cada cosa consideremos todas las cosas con las que se relaciona, en ese momento, pienso, comenzaremos la praxis del *pensamiento interdisciplinario*.

Y acaso otros fenómenos (sociales) que podamos describir mediante el paradigma de sistemas complejos aquí utilizado, es posible podamos esperar de ellos tengan un núcleo de enunciados ontológicos fundacionales, y sus necesarias implicaciones inmediatas alrededor. Si sobre esa base podemos acomodar los distintos subsistemas que sean partes evidentes del sistema complejo mayor, y articularlos mediante las relaciones funcionales y las propiedades emergentes que constituyan su estructura, acaso podamos deducir finalmente su *forma general*, y con ello, estar en posición de levantar la última parte del constructo: el *funcionamiento* del scM. La descripción interdisciplinaria comienza precisamente con él: ¿cómo se produce a partir de la actividad estructural?, y, ¿de qué manera el núcleo lo impulsa y nutre, y le imprime desde su nacimiento su dirección y sentido últimos? Cada componente de sc —sea un subsistema complejo entero (scC), o tan solo elemento de alguno de ellos— tiene una explicación común a todas las cosas, y otra peculiar a él. La primera define y determina al componente y todo lo que tenga que ver con él; la segunda parte se restringe a su función específica en el sistema que inmediatamente lo contiene y a cuya lógica obedece. Mas como parte de una estructura funcional, la rectoría la ejerce siempre el *funcionamiento* del sistema complejo dentro del cual dicho componente exista, y, en último término, de aquel del scM. En este sencillo esquema la construcción es esencialmente metodológica; se busca enraizar el constructo en el objeto de estudio en primera instancia, decantándolo mediante compromisos de congruencia al interior del subsistema, esto es, con su propio *funcionamiento*.

to (nivel disciplinario), con los restantes subsistemas (nivel multidisciplinario), y para con el *funcionamiento* del jcM (nivel interdisciplinario). El *pensamiento interdisciplinario* en construcción, entonces, pareciera consistir en una suerte de noción abarcadora y coherente que explicara a todos y cada uno de los componentes en función de la totalidad organizada que todos contribuyen a construir; la aprehensión del *atractor* mayor; una visión de conjunto del sc y su *funcionamiento*. La comprensión de las articulaciones funcionales que sostiene el jcM en su interior permite movilidad cognitiva a lo largo y ancho de la estructura. Pero sería el pensamiento interdisciplinario quien fuera capaz de explicar cada fenómeno local mediante la explicación de su participación en el sistema. Finalmente, dado que los intercambios de materia/energía y/o información que *a fortiori* ocurren con el entorno, podrían encontrarse de alguna manera engarzados con sistemas independientes, resulta muy relevante incluir la manera en que tales interacciones ocurren (ocurrieron), abriendo posibilidades intrigantísimas para las ciencias sociales: ¿cuáles históricamente son, han sido, las formas de relación entre jcM independientes?, y, la penúltima, ¿cuáles de esas interacciones tienen al mundo como está? ■

Figura 1. Cuatro naturalezas fundamentales y sus maneras de representación.

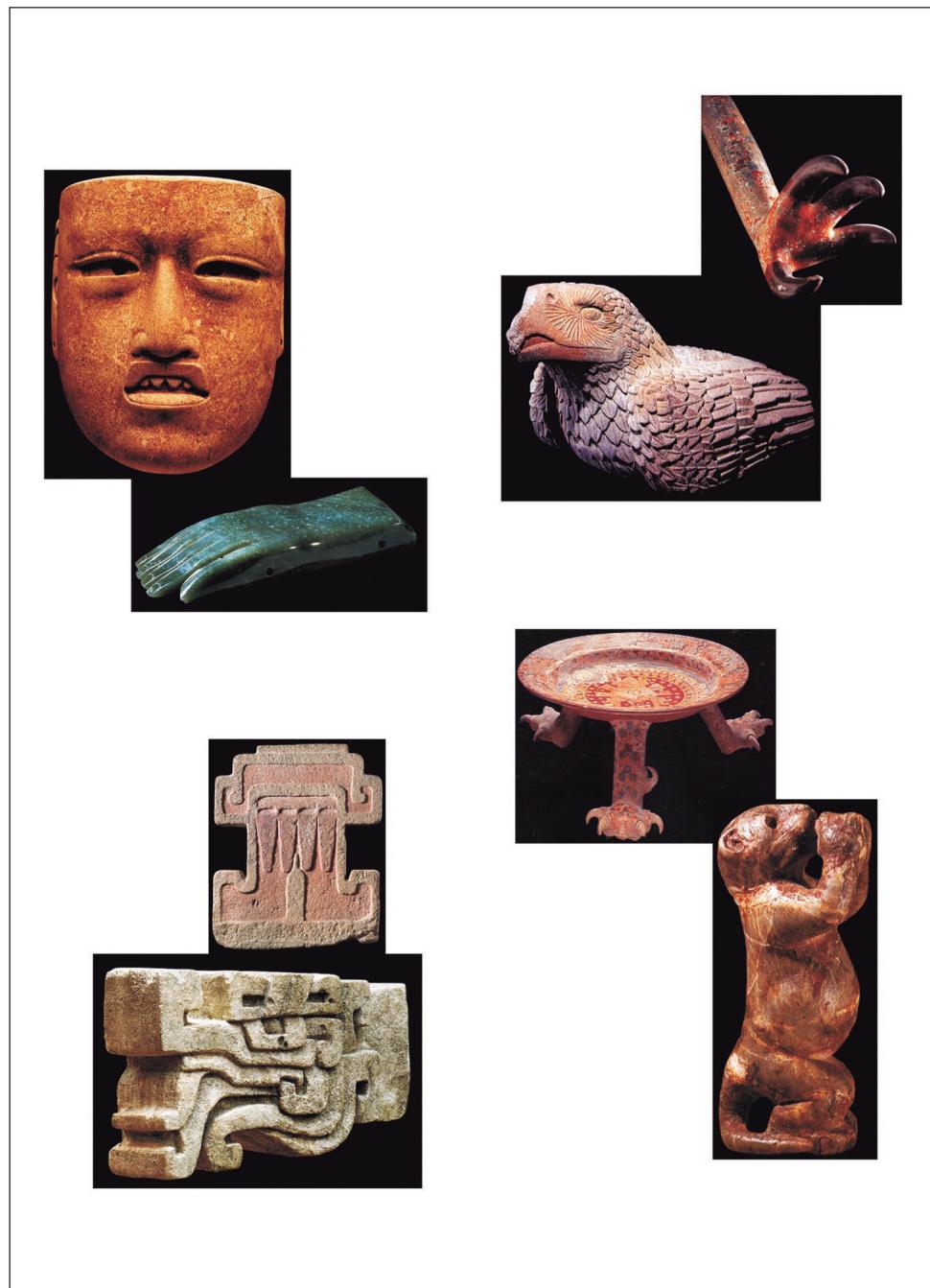


Figura 2. Construcción de sintagmas visuales mediante la fusión de naturalezas.



Figura 3. Cuatro signos abstractos y algunas formas de su representación.

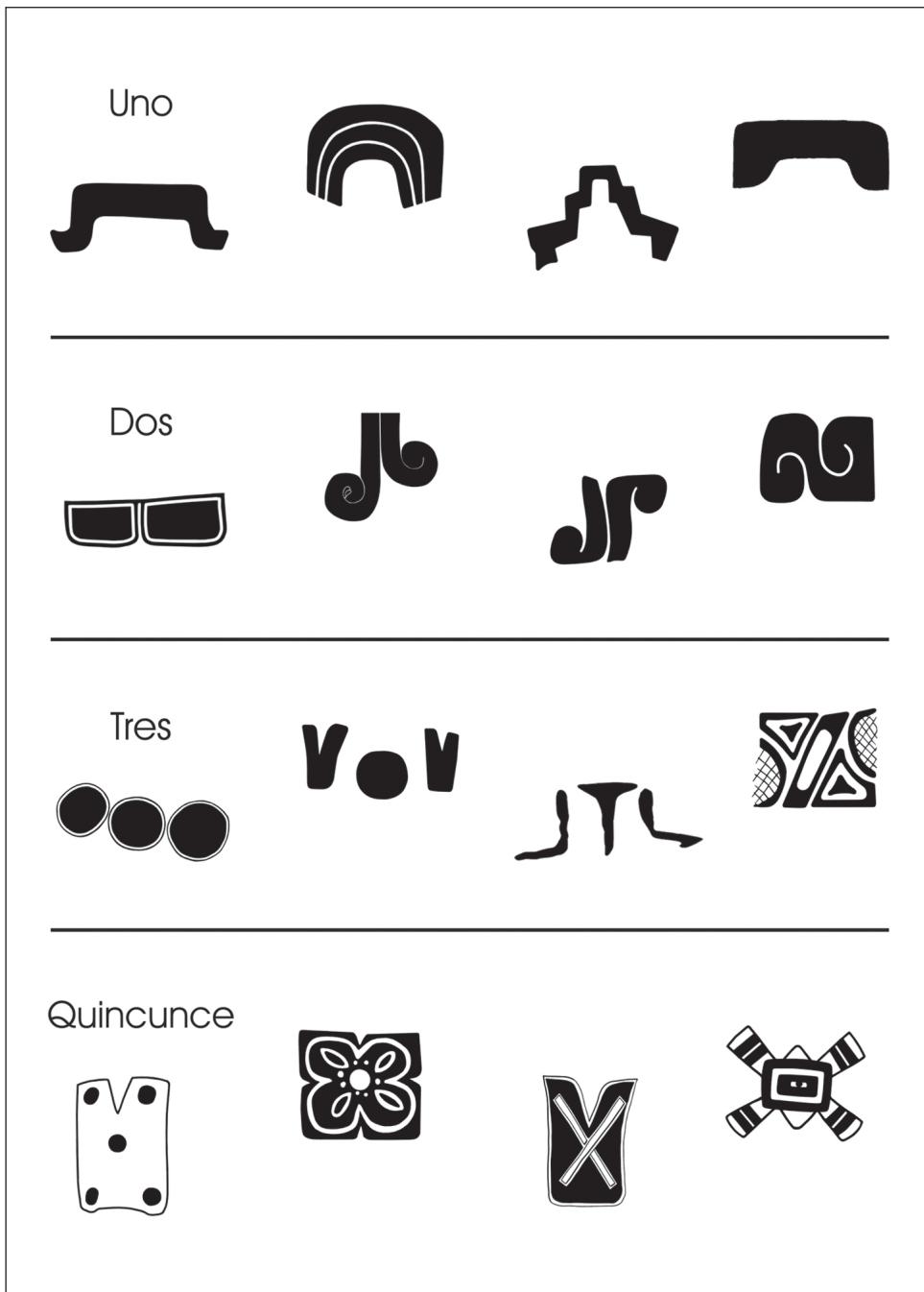


Figura 4. El Tláloc y algunas expresiones de su representación entre las culturas.

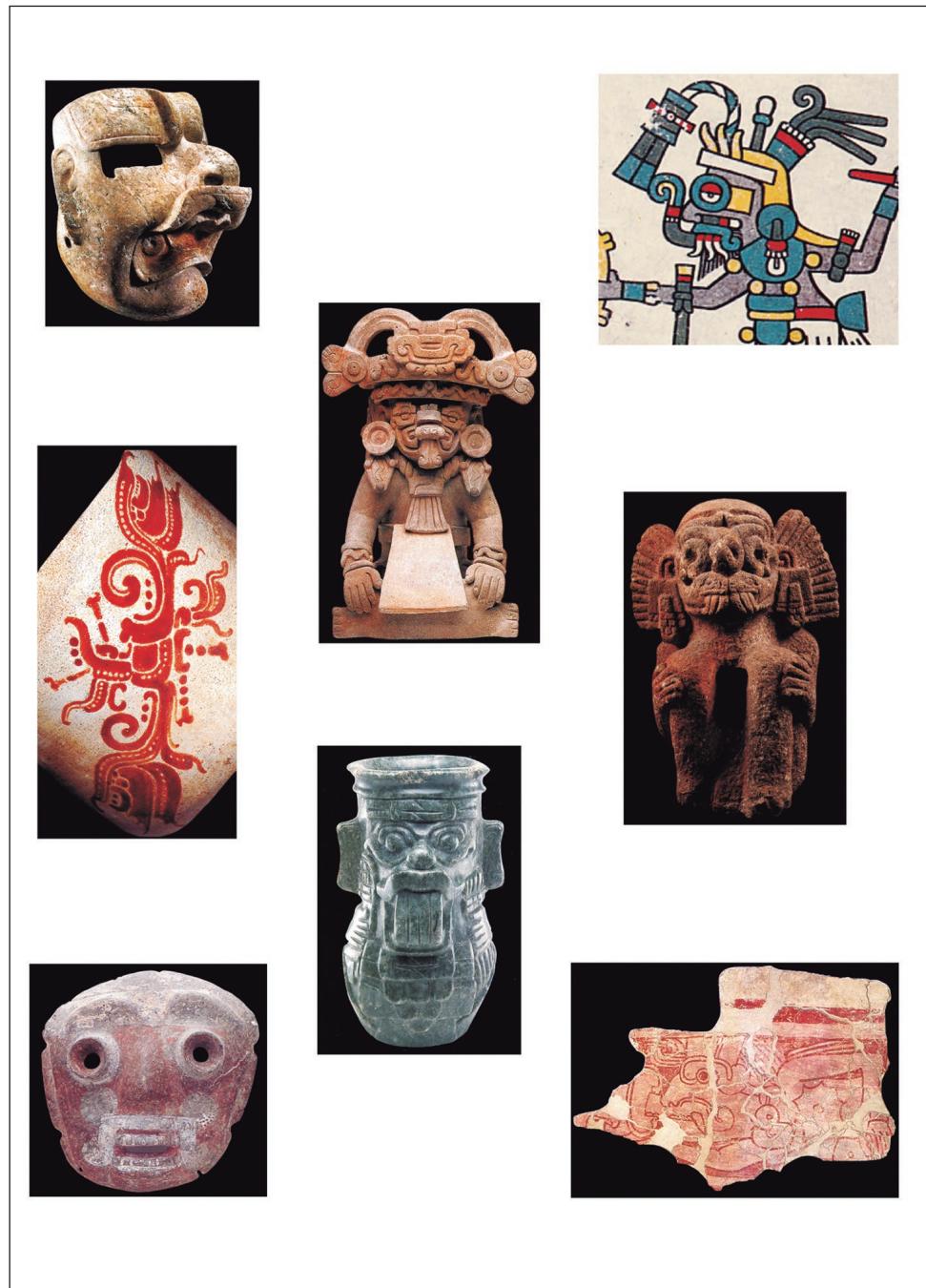
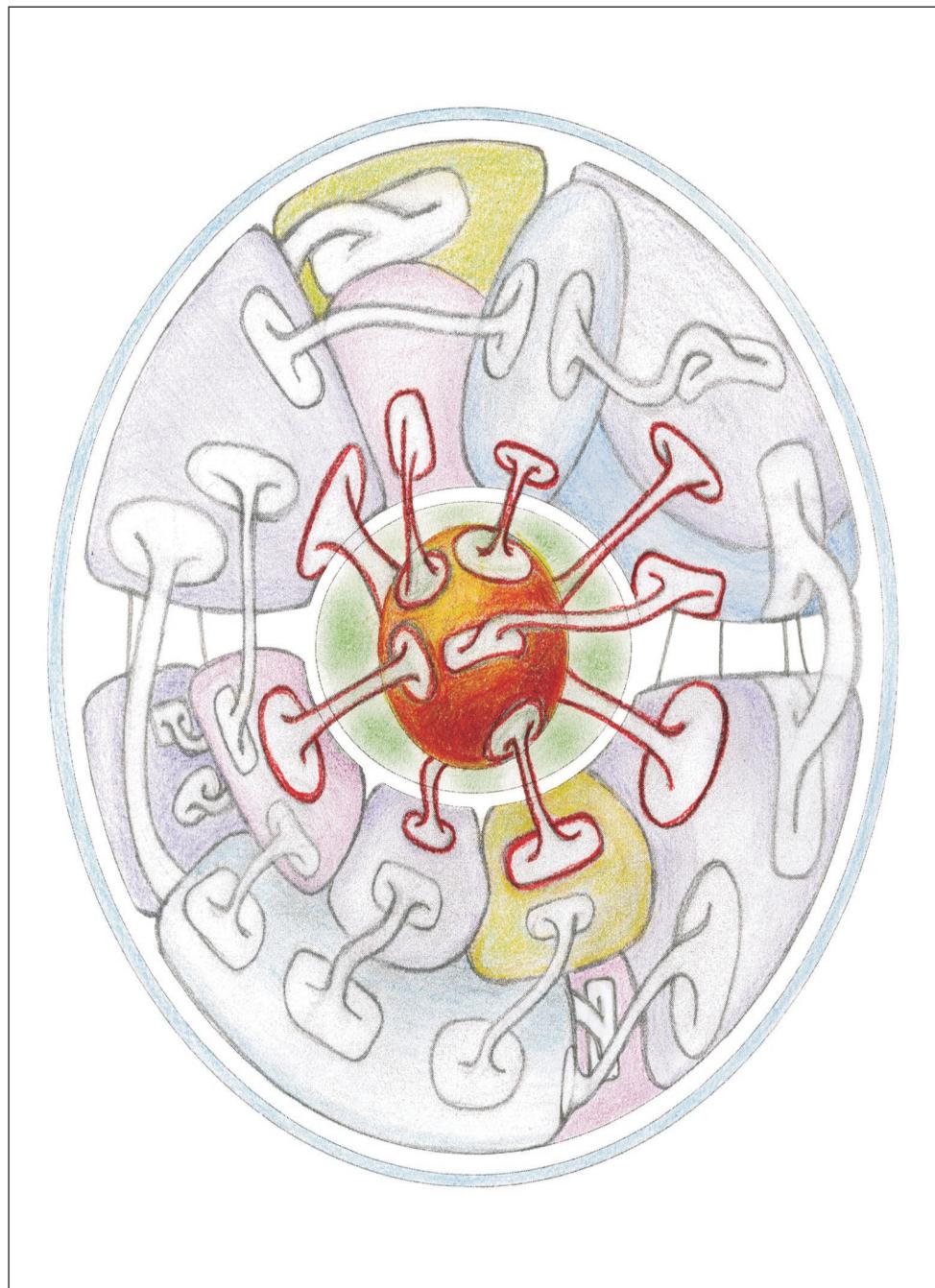


Figura 5. Un modelo del sistema complejo mayor (scM).



Referencias

- Bonifaz Nuño, R. *Imagen de Tláloc. Hipótesis iconográfica y textual*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1986.
- _____. *Hombres y serpientes. Iconografía olmeca*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1989.
- _____. *Olmecas: esencia y fundación. Hipótesis iconográfica y textual*. México: El Colegio Nacional, 1992.
- _____. *Cosmogonía antigua mexicana. Hipótesis iconográfica y textual*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1995.
- de Jonghe, É. «*Histoire du Mechique, manuscrit française inédit du xvie siècle*.» *Journal de la Société des Américanistes*, 2, París, 1905, 1-41.
- García, R. *El conocimiento en construcción. De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2000.
- _____. *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- Quesada García, O. *Tres signos. Escritura antigua de Mesoamérica*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2006.
- _____. *La imagen de Chaac. Naturalezas y signos durante el Periodo Clásico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2009.
- _____. (2016) *La imagen de Cocijo y el lenguaje visual antiguo mexicano*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- _____. y Castañeda Valle, R. *Iconografía olmeca. Composición de signos y principio combinatorio*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2011.
- Thévet, A. *Hystoire du Mechique*. Copias del manuscrito #19031. Biblioteca Nacional de París (BNP), París, ca. 1543.

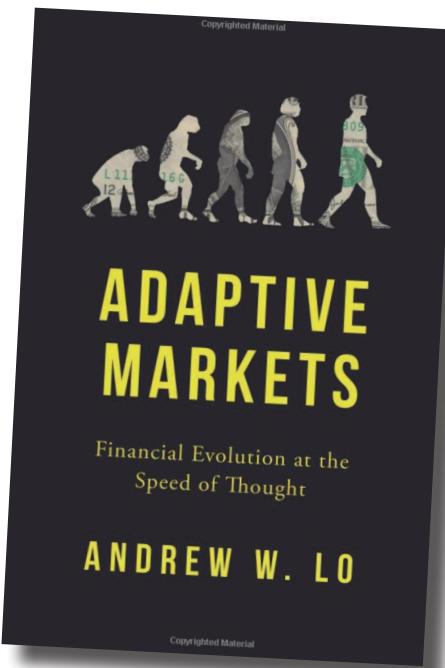
Andrew W. Lo

Adaptive markets. Financial evolution at the speed of thought

Princeton University Press. Princeton, NJ, EUA, 2017, 483 pp.

Ricardo Mansilla Corona*

ESTE NUEVO LIBRO de Andrew W. Lo publicado por Princeton University Press en 2017 es una notable contribución a la comprensión del comportamiento colectivo de los agentes de mercado. Tal vez la idea más innovadora de esta obra es que los inversionistas y los mercados financieros en general se comportan más apegados a las ideas de la biología que de la física, pues considera a los agentes de los mercados como una población de organismos vivos que compiten por sobrevivir en un entorno adverso y no una colección de objetos inanimados sujetos a inmutables leyes de movimiento. De la misma forma en que la teoría neoclásica (corriente principal de las ideas económicas actuales) propone la “hipótesis de mercado eficiente” como el canon del comportamiento colectivo de los agentes económicos, el autor propone una interesante variante denominada “hipótesis de mercado adaptativo”, la cual él mismo había anticipado en publicaciones propias previas. El término *mercado adaptativo* se refiere a los múltiples roles que el concepto de evolución biológica desempeña en perfilar los comportamientos de los agentes econó-



123

micos de manera individual y el comportamiento colectivo de los mercados.

La conexión más atrevida entre el comportamiento evolutivo de los seres vivos y su punto de vista acerca de los mercados es el papel del miedo en la actuación de los participantes en los mercados financieros. Uno de los logros doctrinarios de la teoría

* Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades–UNAM.
Correo-e: mansy@gmail.com

neoclásica es haber hallado una forma de ponerle precio al riesgo a través de las características de la función de utilidad de los agentes, arribando a un resultado como la fórmula de Pratt–Arrow. Si bien en este libro de Andrew W. Lo no encontramos un resultado tan nítido (y tal vez inútil) como la fórmula antes mencionada, en su obra integra esta característica congénita de los seres vivos (el miedo) a la forma en que los agentes de mercado, en su diario devenir, conforman los observables macroscópicos de los mercados financieros.

El autor, por último, aplica esta nueva construcción teórica a las crisis financieras y propone algunas directivas generales para conjurarlas.

Este libro es una contribución muy importante al estudio de los mercados financieros hecha por un especialista que desde los inicios de su carrera académica (recordemos su libro, escrito junto con C. MacKinlay *A non random walk down Wall Street*) fue un *outsider* disidente de la doctrina que se enseña actualmente en la mayoría de las escuelas de negocios del planeta. ■

Colaboran en este número

Ricardo Mansilla Corona

Es doctor en matemáticas por la Universidad de La Habana, Cuba y maestro en ciencias económicas por la Universidad de Carleton Canadá. Ha sido profesor de la Universidad de La Habana, la Universidad de París XI (Orsay) y la Universidad de Moscú Lomonosov. Actualmente es investigador del Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades de la UNAM.

He holds a PhD in mathematics from the University of Havana, Cuba and a master's degree in economics from the University of Carleton Canada. He has been professor of the University of Havana, the University of Paris XI (Orsay) and the University of Moscow Lomonosov. He is currently a researcher at the Center for Interdisciplinary Research in Sciences and Humanities at UNAM.

Correo-e / e-mail: mansy@unam.mx

125

Octavio Quesada García

Biólogo por la Facultad de Ciencias, y neurobiólogo por la Facultad de Medicina y el Instituto de Fisiología Celular de la UNAM. Entre 1980 y 2000 realizó investigación básica experimental en neurobiología celular y molecular, y publicó en coautoría cerca de 30 artículos de investigación original en revistas y libros de impacto en la especialidad. A partir del año 2001 cambió su adscripción académica y línea de investigación, a fin de desarrollar un proyecto multidisciplinario acerca de la cosmovisión antigua mexicana y sus imágenes sagradas, el cual incluye investigación en iconología, matemáticas aplicadas al reconocimiento de patrones y los estudios visuales, así como una vertiente de divulgación del conocimiento. En el área de las humanidades ha publicado cuatro libros de autor y ocho artículos y capítulos de libro. Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) nivel 1 durante 21 años, en las áreas II y IV, sucesivamente.

Biologist by the Faculty of Sciences of UNAM, he received also a neurobiologist degree by the Faculty of Medicine and the Institute of Cellular Physiology of the UNAM. Between 1980 and 2000 he conducted basic experimental research in cellular and molecular neurobiology, and coauthored about 30 articles of original research in journals and books of impact in the specialty. From 2001 onwards he changed his academic adscription and research line in order to develop a multidisciplinary project about the ancient Mexican worldview and his sacred images, which includes research in iconology, mathematics applied to the image recognition and visual studies, as well as a strand of knowledge dissemination. In the area of the humanities he has authored four books and eight articles and chapters of book. He has been a member of the National System of Researchers (SNI), level 1 for 21 years, in areas II and IV, successively.

Correo-e / e-mail: oquesada@unam.mx

Edgar Acatitla Romero

Estudios en economía y filosofía por la UNAM. Maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos por la UACM. Maestría en estudios latinoamericanos por la UNAM y doctorado en economía por la UAM y una estancia en la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Santiago de Chile. 17 artículos y capítulos de libros en distintas revistas y libros con temas tales como teoría del conocimiento, ética, ciclo económico, sistemas complejos y economía, crecimiento económico e innovación tecnológica. 17 años de experiencia docente en las facultades de Economía, y, Contaduría y Administración de la UNAM en diversas materias: matemáticas II; taller de econometría; economía política; teoría del conocimiento; principios y técnicas de investigación; ética, humanismo, y, teoría de la argumentación. Forma parte del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía en el CEIICH-UNAM.

He has studies in economics and philosophy by the UNAM, master's degree in non-linear dynamics and complex systems by the UACM, Master's degree in Latin American Studies by the UNAM and doctorate in economics from the UAM and a stay in the Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), Santiago de Chile. He authored 17 articles and book chapters in different journals and books with topics such as theory of knowledge, ethics, economic cycle, complex systems and economy, economic growth and technological innovation. An experience of 17 years of teaching in the faculties of Economics, and, Accounting and Administration of UNAM, in var-

ious subjects: mathematics II; workshop on econometrics; political economy; theory of knowledge; research principles and techniques; ethics; humanism, and, theory of argumentation. Member of the Academic Committee of the Complexity and Economics Seminar at CEIICH–UNAM.

Correo-e / e-mail: eacatitla@yahoo.com

Joaquín Urbina Alonso

Estudios de matemática en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Académica Iztapalapa (UAM-I). Estudios de maestría en matemática en la UAM-I y estudios de maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México (UACM). Profesor de matemáticas en el Instituto de Educación Media Superior (IEMS). Es miembro del Comité Académico del Seminario de Complejidad y Economía en el CEIICH–UNAM.

Mathematician for the Metropolitan Autonomous University, Iztapalapa Academic Unit (MAU-I). Master degree studies in mathematics at the MAU-I and master degree studies in non-linear dynamics and complex systems at the Autonomous University of Mexico City (UACM). Professor of mathematics at the Institute of Higher Education (IEMS). Part of the Academic Committee of the Seminar on Complexity and Economics at CEIICH–UNAM.

Correo-e / e-mail: complejidadyeconomia@gmail.com

Rosario Nunzio Mantegna

Fundador del campo de investigación interdisciplinario conocido como econofísica. Comenzó a trabajar en el análisis y modelado de sistemas sociales y económicos con herramientas y conceptos de la física estadística en 1990. Publicó el primer trabajo de investigación sobre el comportamiento de un mercado financiero utilizando conceptos de la física estadística en una revista de física en 1991. Es también coautor del primer artículo de análisis de series de tiempo financieras en la revista *Nature* en 1995. Publicó en 1999, junto con H. Eugene Stanley el libro *Introducción a econofísica: correlaciones y la complejidad en finanzas*, probablemente el libro más citado sobre el tema en el idioma inglés. Fundó el Observatorio de Sistemas Complejos del Departamento de Física de la Universidad de Palermo, donde aún es profesor. También es, actualmente, profesor honorario en el University College de Londres, Reino Unido y es miembro (externo) de la facultad del Complexity Science Hub de Viena, Austria.

Founder of the interdisciplinary field of research known as econophysics. He began to work in the analysis and modeling of social and economic systems with tools and concepts of statistical physics in 1990. He published the first research work on the behavior of a financial market using concepts of statistical physics in a physics journal in 1991. He is also coauthor of the first article of analysis of financial time series in the journal *Nature* in 1995. He published in 1999 with H. Eugene Stanley the book *Introduction to econophysics: Correlations and complexity in finance*, probably the most cited on the subject in the English language. He founded the Observatory of Complex Systems of the Department of Physics of the University of Palermo, where he is still a professor. He is also currently an honorary professor at University College London, UK, and is an (external) member of the faculty of the Complexity Science Hub in Vienna, Austria.

Correo-e / e-mail: rosario.mantegna@unipa.it

Jorge Zaragoza Badillo

Actualmente adscrito a la Unidad de Investigación en Economía Urbana y Regional del Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM. Doctorado en economía, UNAM; maestría en dinámica no lineal y sistemas complejos, UACM; licenciatura en economía, UNAM. Ha ejercido la docencia en la FES-Acatlán de la UNAM, en la Facultad de Economía de la UNAM y en la Universidad Tecnológica de la Mixteca (Oaxaca), en esta última como profesor-investigador. Fundador y miembro del Comité Académico, expositor y docente del Seminario de Complejidad y Economía del CEIICH de la UNAM, desde el 2011 hasta la fecha.

Ha presentado ponencias sobre economía, economía matemática, econometría, y, complejidad y economía en diferentes foros académicos como el Seminario de Economía Matemática de la Facultad de Ciencias de la UNAM, el Coloquio Mexicano de Economía Matemática y Econometría, en el Centro de Estudios sobre América de la Habana (Cuba), el Seminario de Economía Mexicana del IIEC de la UNAM, el Seminario Internacional de Teoría del Desarrollo del IIEC de la UNAM, en la FES-Aragón de la UNAM, y en el Primer Congreso de Investigación Económica.

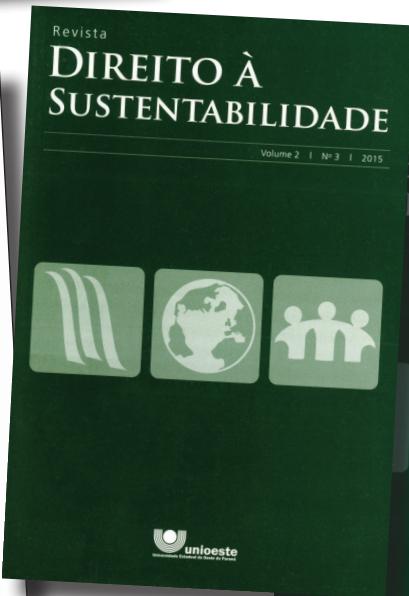
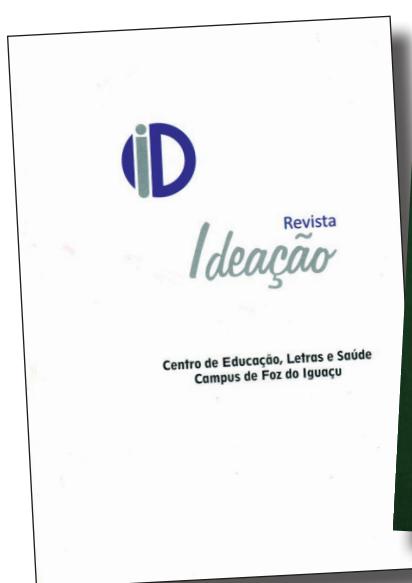
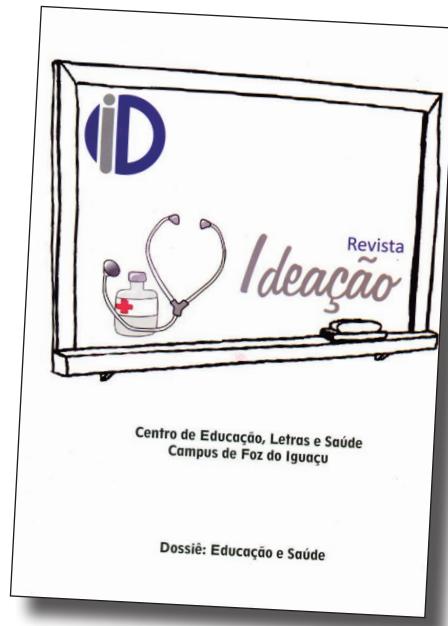
Member of the Research Unit in Urban and Regional Economics of the Institute of Economic Research, UNAM. He has a doctoral degree in economics from UNAM; master's degree in non-linear dynamics and complex systems, UACM; degree in economics, UNAM. He has taught at HEF-Acatlán of UNAM, at the Faculty of Economics of UNAM and at the Mixteca Technological University (Oaxaca), in the latter as professor-researcher. Founder and member of

the Academic Committee, lecturer and teacher of the Seminar on Complexity and Economics of CEIICH of UNAM, from 2011 to date.

He has presented papers on economics, mathematical economics, econometrics, and complexity and economics in different academic forums such as the Seminar on Mathematical Economics of the Faculty of Sciences of the UNAM, the Mexican Colloquium on Mathematical Economics and Econometrics at the Center for American Studies (Cuba), the Mexican Economy Seminar of the IIAM of the UNAM, the International Seminar on Development Theory of the IIAM of the UNAM, FES–Aragón of the UNAM, and the First Congress of Economic Research.

Correo-e / e-mail: zaragozabadillo@exalumno.unam.mx 

**Revistas de la Universidad Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE),
campus Foz do Iguaçu.**



Guía para autores

INTERdisciplina es una revista de acceso abierto, publica artículos que son resultado de investigación interdisciplinaria y reflexión crítica mediante la interacción entre las ciencias y las humanidades, sobre los grandes problemas nacionales y mundiales generando propuestas para su solución. Reflexiones argumentadas sobre las implicaciones del trabajo interdisciplinario desde una perspectiva teórica, epistemológica, metodológica y/o práctica. Análisis de las ideas de transformación de las formas de pensamiento y organización del conocimiento y los saberes en el siglo XXI. Análisis críticos sobre el proceso de integración del conocimiento.

Aplicación de criterios éticos

Esta publicación se adhiere a la declaración y normas del Committee on Publication Ethics (COPE).

Revisión de pares

Los artículos son sometidos a revisión por especialistas en el tema, en la modalidad de doble ciego.

Los artículos se deben enviar en formato Word a través de la dirección electrónica: rev.interd@unam.mx

Características y estructura

Los artículos deben ser inéditos y no deben estar en proceso de evaluación de otra publicación.

- Extensión: el texto no debe exceder 60,000 caracteres (25 cuartillas: página tamaño carta, fuente Times New Roman, 12 puntos, interlineado de 1.5 líneas, márgenes 2.5 x 2.5 x 2.5 cm).
- Resumen: los artículos escritos en español o un idioma distinto deberán presentar el resumen en inglés. La extensión máxima será de 200 palabras.
- Palabras clave: los artículos escritos en un idioma distinto al español deberán presentar las palabras clave en inglés. Éstas deben tener un carácter temático.
- Datos del autor(es): deben incluir nombre y apellidos, correo electrónico, adscripción institucional, así como la formación académica.

Referencias

- Citas: se deben presentar acorde al *Manual de Estilo Chicago* 15^a edición. Éstas deben estar incorporadas en el texto señalando, entre paréntesis, en el siguiente orden: Apellido de las y los autores y el año de publicación. En el caso de citas textuales, se indicará la página de la referencia.

Ejemplos:

(Hobsbawm 1995, 140)

(Dagnino, Olvera y Panfichi 2010, 220)

- Referencias bibliográficas: se deben presentar al final del artículo, en orden alfabético acorde al primer apellido de las y los autores.

- Notas a pie de página: fuente Times New Roman, 10 puntos e interlineado sencillo.

Ejemplos:

- i. *Libro de un autor*: Hobsbawm, Eric. *Historia del siglo XX*. Barcelona: Crítica, 1995.

- ii. *Libro de dos o más autores*: Dagnino, Evelina, Alberto Olvera y Aldo Panfichi. *La disputa por la construcción democrática en América Latina*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 2010.

- iii. *Sección de libro*: Álvarez, Sonia E. «Los feminismos latinoamericanos se globalizan: tendencias de los 90 y retos para el nuevo milenio.» En *Política cultural y cultura política. Una nueva mirada sobre los movimientos sociales latinoamericanos*, editado por Arturo Escobar, Sonia E. Álvarez y Evelina Dagnino, 345-380. Bogotá: Taurus; ICANH, 2001.

- iv. *Artículo de revista*: Levitsky, Steven y Lucan Way. «Elecciones sin democracia. El surgimiento del autoritarismo competitivo.» *Estudios Políticos* nº 24, (2004): 159-176.

- v. *Artículo de periódico*: Reuter. «Renuncia Benedicto XVI “por falta de fuerzas”.» *La Jornada*, 11 de febrero de 2013: 1-2.

Figuras e ilustraciones

Deben entregarse en un archivo anexo indicando las páginas en las que deben insertarse. Las imágenes deben señalar el autor(a) y la fuente. Las tablas y gráficas deben entregarse en archivo Excel indicando las páginas en las que deben insertarse.

Guidance for authors

INTERdisciplina is an open access journal that publishes articles which are the result of interdisciplinary research and critical reflection involving the interaction between science and the humanities, concerning major national and global issues, and generating propositions for their solution. Also, reasoned reflections on the implications of interdisciplinary work from theoretical, epistemological, methodological and practical points of view, and analyses of conceptions of the transformation of thought forms and organization of knowledge and learning in the twenty first century. Critical analyses of processes involved in the integration of knowledge are also welcome.

Application of ethical criteria

This publication adheres to the declaration and standards of the Committee on Publication Ethics (COPE).

Peer review

The articles are subject to review by specialists in the subject, double-blind mode.

Papers should be submitted in Word format to rev.interd@unam.mx

Characteristics and structure

Papers should be unpublished and not in any evaluation process by other journals.

- *Length.* Text should be no longer than 60,000 characters (25 A4 pages, in 12 point Times New Roman font, with 1.5 line spacing and 2.5 × 2.5 × 2.5 × 2.5 cm margins).
- *Summary.* Papers written in Spanish or any other language should enclose a summary in English. Maximum length of same should be 200 words.
- *Keywords.* Papers written in any language other than Spanish should present key words in English. These should be thematic.
- *Author information.* Should include author's full name and surnames, email, institutional affiliation, as well as academic degrees.

References

- *Quotes.* Should be presented according to the *Chicago Style Manual*, 15th Ed. Quotes

should be included in text, followed in brackets by, in the following order: surname(s) of the author(s) and year of publication. In the case of verbatim quotes, page of reference should be indicated.

Examples:

(Hobsbawm 1995, 140)

(Dagnino, Olvera and Panfichi 2010, 220)

- *Bibliographic references* should be enlisted at the end of the paper, in alphabetical order, according to the first surname of the author(s).
- *Footnotes*, numbered or not, as necessity dictates, should be entered at the bottom of each page. Font: 10 point Times New Roman, with single spacing.

Examples:

i. *Book by one author:* Hobsbawm, Eric. *Historia del siglo XX*. Barcelona: Crítica, 1995.

ii. *Book by two or more authors:* Dagnino, Evelina, Alberto Olvera and Aldo Panfichi. *La disputa por la construcción democrática en América Latina*. México D.F.: Fondo de Cultura Económica, 2010.

iii. *Section of a book:* Álvarez, Sonia E. «Los feminismos latinoamericanos se globalizan: tendencias de los 90 y retos para el nuevo milenio». In *Política cultural y cultura política. Una nueva mirada sobre los movimientos sociales latinoamericanos*, edited by Arturo Escobar, Sonia E. Álvarez and Evelina Dagnino, 345-380. Bogotá: Taurus; ICANH, 2001.

iv. *Article in a journal:* Levitski, Steven and Lucan Way. «Elecciones sin democracia. El surgimiento del autoritarismo competitivo». *Estudios Políticos* nº 24, (2004): 159-176.

v. *Article in a newspaper:* Reuter. «Renuncia Benedicto XVI "por falta de fuerzas"». *La Jornada*, February 11, 2013: 1-2.

Figures and illustrations

Should be presented in a separate file, indicating the pages in which they must be inserted. All images must mention the author and the source. Tables and graphs should be presented in an Excel file, indicating the pages in which they must be inserted.

CONTENIDO

PRESENTACIÓN

EDITORIAL

DOSIER

El uso de redes complejas en economía: alcances y perspectivas

Edgar Acatitla Romero y Joaquín Urbina Alonso

El uso de Twitter en el análisis financiero: aproximación desde la econofísica

Andrés García Medina

Los orígenes interdisciplinarios de las finanzas

Ricardo Mansilla Corona

La dinámica de la PEA en la zMCM: aplicación de un modelo dinámico no lineal

Jorge Zaragoza Badillo y Ricardo Mansilla Corona

ENTREVISTA

Profesor Rosario Nunzio Mantegna

Ricardo Mansilla Corona

COMUNICACIONES INDEPENDIENTES

El lenguaje visual antiguo mesoamericano y el pensamiento interdisciplinario

Octavio Quesada García

RESEÑA

Adaptative markets. Financial evolution at the speed of thought

Ricardo Mansilla Corona