

Ciencias de la Complejidad: ¿La economía del siglo 21?

Eugenia Perona [†]

Universidad Nacional de Córdoba

Diciembre de 2004

eperona@eco.unc.edu.ar

Resumen:

El presente trabajo recoge los aspectos más importantes de los modernos desarrollos en las llamadas ‘teorías de complejidad’, e intenta brindar un panorama amplio sobre lo que significa la complejidad tanto para las ciencias en general como para la economía en particular. El artículo se estructura en torno a una serie de preguntas claves e incluye abundantes referencias y links a sitios web relevantes, representando en este sentido una contribución valiosa a la difusión de estas ideas ya que no existen (por el momento) síntesis o sistematizaciones del tema lo suficientemente completas y accesibles. El mensaje más importante del trabajo es que la complejidad no debe pasarnos desapercibida, ya que según muchos economistas en el mundo, estos desarrollos están produciendo una revolución en la forma tradicional de pensar y hacer economía y van a ser cruciales para el desarrollo de la disciplina en las próximas décadas.

Clasificación JEL: A11, A12, B20, B41

1. ¿Por qué es importante estar atentos ante el nuevo fenómeno de la complejidad?

Las modernas teorías de complejidad (*complexity theory*, en inglés) parecen ser el último grito de la moda dentro de la ciencia en general, y la teoría económica en particular. En efecto, el impactante crecimiento que estas ideas han tenido en los últimos años, no pasa desapercibido. Prueba de ello es que, en los distintos libros y ediciones especiales de journals que aparecieron con motivo del cambio de milenio, muchos autores renombrados han opinado que la economía progresará hacia ser parte de las ciencias de la complejidad. Por ejemplo, en la edición del milenio del *JEP*, David Colander escribe:

Los 1990 vieron el nacimiento de las ciencias de la complejidad... Para el 2030 la mayoría de los economistas estarán convencidos de que la economía es un sistema complejo que corresponde al ámbito de dichas ciencias (2000a:128).

[†] Este trabajo está basado en las presentaciones realizadas en la XXXIX Reunión Anual de la AAEP (10/11/04) y en la Facultad de Ciencias Económicas de la UNC (24/11/04). Agradezco todos los comentarios recibidos, especialmente al Lic. Gustavo Marqués, así como el apoyo institucional y financiero proporcionados por el Dr Eneas Gay y la Asociación Cooperadora de la FCE para organizar y asistir a las presentaciones. Finalmente, la guía intelectual de mi supervisor en Cambridge, el Dr Tony Lawson, está siempre presente y resulta invaluable para todos mis trabajos en metodología.

O también, en su libro sobre la evolución de la economía matemática en el siglo 20, Nicola concluye con “Una mirada hacia el futuro”, conjeturando que entre las principales áreas a desarrollarse en las décadas por venir estarán las teorías de sistemas complejos, así como otras áreas relacionadas:

Pienso que en los próximos veinte años los principales intereses de los economistas matemáticos se centrarán en: dinámica compleja... simulaciones por computación y economía experimental... juegos dinámicos... (2000:465).

La opinión de que la economía evoluciona hacia lo complejo no es patrimonio sólo de los economistas, sino de los científicos y de los periodistas especializados. Ilya Prigogine, uno de los padres fundadores de la complejidad dentro de las ciencias naturales ha opinado que el conocimiento científico transita hacia “...lo múltiple, lo temporal y lo complejo” (1984:xxvii) y esto comprende también a las ciencias sociales en todas sus manifestaciones incluida, por supuesto, la economía. Al mismo tiempo, en una revista de divulgación general, M. Buchanan afirma:

Las ideas de complejidad... “están comenzando a delinear una revisión radical y por mucho tiempo postergada, de la teoría económica” (2004:35)

Finalmente, J.B. Rosser editó muy recientemente un compendio de tres volúmenes (y más de 1500 páginas) sobre *Complejidad en Economía*, donde recopila los papers más importantes que aplican la teoría de complejidad a distintas áreas de la economía. En su introducción, el autor sostiene en forma categórica que: “La conciencia de la ubicuidad de la complejidad está transformando el modo en el que pensamos acerca de la economía” (2004:ix).

Lo anterior sirve para ilustrar el auge y la importancia que está cobrando este enfoque dentro de la economía (y las ciencias en general). Para tener una dimensión muy somera de la revolución en el pensamiento que están causando estas ideas, basta con buscar “complexity theory economics” en el buscador de Google y aparecen alrededor de un millón de sitios web (hace cinco años, eran sólo unos pocos centenares). Y si buscamos “complexity theory” a secas, el resultado asciende a más de cinco millones de sitios. Invito al lector interesado a bucear un poco entre estas páginas web, ¡hay cosas muy interesantes!

El mensaje que pretendo comunicar, es que es importante que prestemos atención a estos nuevos desarrollos, que no nos pasen desapercibidos, ya que según muchos (y cada vez más) economistas en el mundo, los mismos están produciendo una revolución en la forma tradicional de pensar y hacer economía y van a ser cruciales para el desarrollo de la disciplina en las próximas décadas. Asimismo, creo que ante el hecho inevitable de que la economía progresá hacia ser una ciencia de la complejidad, debemos plantearnos seriamente: i) en qué medida estos nuevos desarrollos podrán ser útiles para ayudarnos a explicar los fenómenos económicos y ii) cuáles son sus limitaciones. No sea cosa que cambiemos lo malo conocido, por lo peor por conocer.

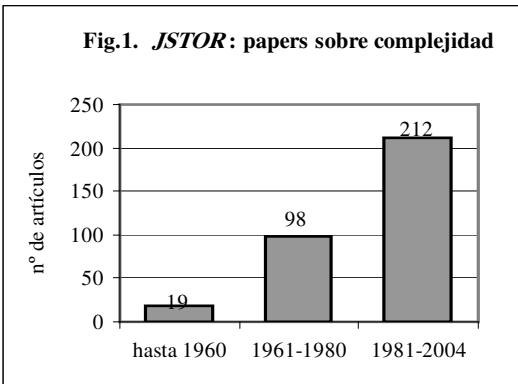
En el resto del artículo, me centraré en estas cuestiones: mostrar el avance y significado de las teorías de complejidad, resaltar su contribución a la teoría económica y destacar algunos problemas y aspectos metodológicos conflictivos.

2. La complejidad en el tiempo y en el espacio

Primero que nada, quisiera situar a la complejidad temporalmente, porque es natural preguntarse ¿cuándo surge y se expande este fenómeno? La respuesta es que lo hace, aproximadamente, durante las dos últimas décadas, más o menos desde mediados de los '80, aunque el *gran* crecimiento y difusión a todo tipo de ciencias se produce en los '90.

En los últimos años, he encontrado aplicaciones de la teoría de complejidad a todo tipo de disciplinas, incluso a cosas tan extrañas como la literatura o la religión. Por ejemplo, véase el curioso master en *Complejidad, Caos y Creatividad* que se ofrece en la Universidad de Western Sydney:

<http://www.zulenet.com/VladimirDimitrov/pages/ComplexityChaosCreativity.html>



Sin embargo, esto no quiere decir que no haya desarrollos anteriores en el tema. Las investigaciones en teoría de estructuras disipativas llevadas a cabo por Prigogine en los '70s constituyeron la primera expresión concreta de la complejidad moderna; de hecho, se le atribuye a este científico ruso-belga ser su fundador. También (y como explicaré más adelante) por estar las teorías de complejidad asociadas a modelos de dinámica no lineal, su aparición estuvo precedida por numerosos desarrollos en esta materia (incluyendo la teoría del caos) que comenzaron a llevarse a cabo ya desde los años '60, principalmente como aplicaciones a la meteorología, la biología y la física¹. Finalmente, la complejidad está asociada en gran medida con la teoría de sistemas y los modelos computacionales, cuyos primeros desarrollos se dieron desde los años '40 en adelante.

Es decir, si bien las ciencias de complejidad constituyen un fenómeno novedoso y su expansión acelerada es claramente muy reciente, las bases para que éstas pudieran surgir, los fundamentos sobre los que se asientan, son ideas que fueron tomando forma a lo largo del siglo pasado. En este sentido, y a pesar del carácter revolucionario que algunos autores le atribuyen, la complejidad no es un fenómeno aislado del contexto científico en el que se desarrolló.

¹ Así y todo, se atribuye a Poincaré el haber trabajado con los primeros modelos no lineales ya a comienzos del siglo 20.

Como una forma indirecta de mostrar este crecimiento, se puede seguir el comportamiento de las publicaciones de artículos en la base de datos de *JSTOR* (www.jstor.ac.uk). Mientras que antes de 1960 se publicaron menos de 20 papers en temas relacionados con la complejidad, este número creció a 98 de 1960 a 1980, y a 212 de 1981 en adelante (Fig.1).

Otro indicador del crecimiento reciente de las ideas de complejidad, está dado por la aparición de journals y revistas especializados en el tema que surgieron, en gran medida, de 1985 en adelante. Se destacan, entre otros, el *Journal of Complexity* (1985), *Complex Systems* (1987), *Complexity International* (1994), *Complexity* (1995), *Nonlinear Phenomena in Complex Systems* (1998), *Advances in Complex Systems* (1998/99), *Emergence: Complexity and Organization* (1999) y, sin que todavía haya salido el primer número, *Chaos & Complexity Letters* (2004).

En segundo término, debo situar a la complejidad espacialmente. Esto es difícil porque debido a su creciente y acelerada difusión entre las comunidades científicas del mundo entero, es probable que en la mayoría de los países (especialmente los desarrollados) haya grupos de investigadores trabajando en el tema. Sin embargo, y a riesgo de que mi afirmación sea un tanto especulativa, de la lectura intensiva que he hecho del tema durante los últimos años, puedo identificar ciertas regiones donde las teorías de complejidad han prendido con más fuerza.

Tengo que ubicar, en la cima del ranking, a Estados Unidos, no obstante lo cual no lo veo como un fenómeno a nivel de país, sino sólo de algunos centros de investigación (cada vez más), muy especializados pero a la vez muy influyentes. Entre ellos, sin ningún lugar a dudas, el Instituto Santa Fe (SFI; New Mexico) ocupa el primer puesto. También el Instituto de Sistemas Complejos de Nueva Inglaterra (NECSI; Cambridge-MA) ha cobrado mucha importancia en los últimos tiempos. Las páginas web de estas dos instituciones, que incluyen bastante material introductorio para entender de qué se trata la complejidad, son: www.santafe.edu y <http://necsi.org/>

A pesar de la gran influencia que ejercen los centros de investigación norteamericanos, el lugar donde quizás el desarrollo de la complejidad ha sido más homogéneo, es en Europa. Hay investigadores trabajando en el tema en casi todos los países principales: el Reino Unido, Francia, Alemania, Bélgica, Holanda, Austria y, más recientemente, España. Pero quizás el país que está haciendo de la complejidad su lema, por el número de universidades, científicos, conferencias y publicaciones dedicados a la misma, es Italia. Las universidades italianas – especialmente Roma, Trento, Salerno y Pavia – se han tomado la complejidad muy a pecho y están dispuestos a hacer de la misma su área distintiva de especialización.

Sitios web recomendables en Europa son el *Centro de Investigaciones en Complejidad* (con base en la Universidad de Liverpool, UK), que ha conformado una red de investigadores a la cual se puede suscribir gratuitamente para recibir información sobre todos los eventos que se realizan en el área: www.liv.ac.uk/CCR/ También me resultó muy interesante el sitio pan-europeo *Complejidad en Ciencias Sociales*, que si bien no ha sido actualizado desde 2003, provee una buena introducción al tema, así como papers con aplicaciones a la ciencia social que se pueden bajar de la página: www.irit.fr/cosi

Aunque geográficamente lejos de los anteriores, pero cercano debido a la gran influencia europea a nivel académico y cultural, Australia es otro de los países donde la complejidad se practica en numerosas instituciones. La Universidad de Queensland, en Brisbane, cuenta con un centro especializado y un grupo de investigadores abocados a las teorías de complejidad, pero hay otros grupos en Canberra y Sydney. Además, la agencia nacional de investigaciones (CSIRO) promueve los desarrollos en complejidad a través de un instituto específico destinado a “complex systems science”. La página del *Centro para Sistemas Complejos* de la Universidad de Queensland puede visitarse en: www.accs.uq.edu.au y la de CSIRO en: www.dar.csiro.au/css/

Finalmente, no puedo omitir un comentario acerca de lo que ocurre en regiones más próximas a nuestra realidad. Si bien, como dije antes, puede esperarse que las ciencias de complejidad se difundan masivamente y en todas direcciones en los próximos años, por el momento existen muy pocos desarrollos en estos temas en universidades latinoamericanas y mi intuición me hace pensar que el ritmo de adopción de las nuevas ideas no va a ser tan rápido como en otras regiones del mundo, especialmente en lo que hace a las ciencias sociales.

Creo que una razón para que esto ocurra es que, en las ciencias sociales, hemos sido tradicionalmente tomadores (y con bastante rezago) de los conocimientos que surgen en los países desarrollados, pero casi nunca o pocas veces, creadores de conocimiento. En este sentido, el ejemplo que mencioné de Italia es digno de tomarse en cuenta. Ellos no fueron los primeros en proponer y desarrollar las ciencias de la complejidad, pero una vez que se conocieron estas ideas, un grupo importante dentro de la comunidad académica se puso a trabajar en el tema en pos (implícitamente) de un objetivo común: el de lograr una especie de ‘nicho de mercado’, haciendo de Italia un país que se distingue de los demás por la cantidad y calidad de sus trabajos en un área de punta como las teorías de complejidad².

Otra razón para la difícil difusión de las ciencias de la complejidad en las facultades de ciencias sociales en América Latina es el fuerte carácter interdisciplinario de las mismas (que constituye uno de sus rasgos más distintivos). En la mayoría de los centros de investigación en complejidad en el mundo, es posible encontrar científicos que provienen de numerosas disciplinas y a su vez trabajan en proyectos correspondientes a distintas áreas; por ejemplo, se da el caso que hay físicos, biólogos, politólogos, analistas de sistemas, etc., estudiando quizás un problema económico. Esto es difícil de conseguir en muchos países latinoamericanos donde las distintas disciplinas funcionan usualmente como compartimentos aislados y hay poca comunicación entre investigadores de distintas facultades y poco interés en lo que se hace en otros ámbitos.

Así y todo existen algunos desarrollos interesantes, como el grupo de investigación en *Sistemas Complejos en la Universidad de Buenos Aires*, cuya página web, que incluye numerosos trabajos realizados por este grupo, es: www.cea.uba.ar/aschu/complex.html

3. Pero, ¿qué es complejidad?

Aquí comenzamos a entrar en terrenos pantanosos ya que ésta es una pregunta que, por el momento, no tiene respuesta. Los distintos científicos, simplemente, no se ponen de acuerdo en *qué es* la complejidad. Lo que es más, lo reconocen explícitamente. Es posible encontrar en casi todas las introducciones a libros o trabajos en complejidad, que los autores plantean este problema, y/o se excusan de no poder brindar una definición propiamente dicha. A continuación cito dos ejemplos, uno proveniente de las ciencias en general y otro de la economía, para ilustrar este punto. Sin embargo, pueden consultarse muchas más citas en el Cap.1 de mi tesis (Perona, 2004a). El *Grupo en Complejidad* que funciona en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cambridge (<http://www-mmd.eng.cam.ac.uk/complexity/complexity.htm>) lo expresa de la siguiente manera:

La complejidad es difícil de definir. Mucha gente ha tratado de definirla basándose en las características de la complejidad en el contexto de sus respectivos campos de investigación. Pero ninguna definición en particular parece ser lo suficientemente comprensiva como para abarcar todas las situaciones donde existe la complejidad. Pareciera que una definición general de complejidad sólo puede ser aproximada mediante la adición de diferentes definiciones.

² No estoy sugiriendo que los países latinoamericanos deban especializarse necesariamente en complexity science; mi razonamiento se extiende a cualquier otra área novedosa del conocimiento.

También los economistas han planteado este problema, como Arthur, Durlauf y Lane, que en la introducción del volumen *La Economía como un Sistema Complejo Evolutivo II*, afirman:

Pero ¿qué es exactamente la perspectiva de la complejidad en economía? Esa no es una pregunta fácil de responder... De hecho, los autores de los ensayos en este volumen no comparten de ningún modo una visión única y coherente del significado e implicaciones de la complejidad en economía. Lo que encontramos, no obstante, es una cierta semejanza familiar, basada en un conjunto de temas interrelacionados que juntos constituyen el significado actual del enfoque de complejidad en economía (1997:2).

En efecto, se han propuesto numerosas definiciones y se dice que hasta ahora se han sistematizado más de cincuenta nociones distintas de complejidad. En realidad hay muchas más y día a día aparecen nuevos conceptos. A modo de ejemplo, y para que el lector se haga una idea de algunas de las definiciones que existen, más abajo copio la clasificación propuesta por Herbert Simon, uno de los precursores de la complejidad. Otro conjunto de definiciones puede encontrarse en un recuadro del breve artículo de Horgan (1995) y varias más en el Cap.3 de mi tesis (Perona, 2004a). Finalmente, los más ávidos por incursionar en un sinnúmero de definiciones, pueden consultar el Apéndice 1 de la tesis de Bruce Edmonds (1999), en su página de internet: <http://bruce.edmonds.name>

Siete medidas de complejidad según la sistematización de Herbert Simon

(1976:507-8; énfasis del autor):

cardinalidad, interdependencia, indecidibilidad, contenido de información, número de parámetros/símbolos, complejidad computacional y dificultad del problema

- (1) Los sistemas que tienen muchos componentes pueden ser considerados complejos relativo a los sistemas que tienen pocos. Por lo tanto la *cardinalidad* de un conjunto puede ser tomada como una medida de su complejidad.
- (2) Los sistemas en los que hay mucha *interdependencia* entre los componentes son generalmente vistos como más complejos que los sistemas con menos interdependencia entre sus componentes.
- (3) Los sistemas que son *indecidibles* pueden ser considerados complejos en comparación con aquellos que son decidibles.
- (4) La complejidad de los sistemas puede ser medida por su *contenido de información*, en el sentido de Shannon-Wiener. De acuerdo a este criterio, los sistemas con varios componentes idénticos son menos complejos que los sistemas de tamaño comparable cuyos componentes son todos diferentes.

Podemos hablar no sólo de la complejidad de los sistemas en general, sino más específicamente de la complejidad de las teorías o de los dominios de problemas:

- (5) Intimamente relacionada a la noción de complejidad informacional está la idea de medir la complejidad de las teorías por el número de sus *parámetros*, o por el número de *símbolos* requeridos para describirlos.
 - (6) Hoy en día, existe un interés muy importante entre los matemáticos e informáticos en la *complejidad computacional* – el máximo número del número esperado de pasos computacionales elementales requeridos para resolver un problema de un cierta clase.
 - (7) Las medidas de *dificultad del problema* pueden ser vistas, al menos en algunas circunstancias, como una clase particular de medidas de complejidad computacional.
-

A esta altura uno podría preguntarse ¿y qué?, ¿es acaso un problema que coexistan tantas definiciones? Para los complexólogos, lo es. El mayor problema es que lo que es complejo según alguna definición, muchas veces no lo es según otras. Además, casi siempre sucede que una noción de complejidad en particular incluye cosas que, según la intuición de los científicos, no son complejas, y/o excluye otras que sí lo son. Indudablemente, esto causa una cierta molestia a los investigadores, que quieren ser capaces de alcanzar una definición universal de 'la' complejidad.

Lo anterior también está relacionado con la idea, que sostienen implícita o explícitamente muchos de sus defensores, de que la complejidad ha proporcionado un nuevo y renovado aliciente para pensar en una ciencia unificada. La Unidad de la Ciencia, la Teoría General de Todo, la búsqueda de una especie de piedra filosofal que pueda explicar desde el comportamiento de partículas elementales hasta la vida, las sociedades y el universo, subyace a las intenciones de muchos de quienes siguen estas ideas. Horgan lo reconoce al comentar que, en el Instituto Santa Fe, se trabaja sobre la premisa de que la complejidad representa "un modo de pensar nuevo y unificado, acerca de la naturaleza, el comportamiento social, la vida y el universo mismo" (1995:104). Sin embargo, si no hay acuerdo en torno a qué es complejidad, ¿cómo podría siquiera empezar a hablarse de una ciencia unificada? He ahí el kid de la cuestión.

Existen, sin embargo, dos elementos comunes a todas las definiciones de complejidad. Por un lado, la complejidad está asociada a la idea de *sistemas*, es decir, un conjunto de partes, aspectos, o componentes, que de algún modo se relacionan entre sí para dar lugar a un 'todo'. Por otro, la complejidad supone la *dificultad para entender* algo. Estos dos elementos comunes son muy generales y corresponden, en mayor o menor medida, a las definiciones de complejidad que uno podría encontrar en el diccionario. En definitiva, son conceptos muy vagos, que no alcanzarían para distinguir claramente lo complejo de lo no-complejo, sin antes incurrir en mayores precisiones.

La idea de que la complejidad se aplica a *sistemas*, puede hasta llegar a ser trivial. Uno podría pensar que todos los objetos de la realidad – incluidos no sólo los elementos de la naturaleza sino también las construcciones teóricas y los modelos, que también forman parte de lo que existe en la realidad – tienen una forma sistémica. Por ejemplo, el comportamiento de agentes individuales en la economía da lugar a comportamientos agregados (esto es un sistema); las distintas fuerzas (gravitatoria, aerodinámica, etc.) que actúan sobre los cuerpos físicos dando como resultado los fenómenos que observamos constituyen otro sistema; un conjunto de ecuaciones interrelacionadas conforman un sistema de ecuaciones propiamente dicho; el 'todo' que somos cada uno de nosotros aquí y ahora es función de las acciones que realizamos a lo largo de nuestro pasado, lo cual también puede conceptualizarse como un sistema.

Y así sucesivamente; con suficiente imaginación todo puede expresarse como un sistema, porque en el fondo, no es otra cosa sino la expresión de la noción elemental de causalidad. Pero si todo, de alguna manera, puede expresarse como un sistema, entonces no podemos definir complejidad como una propiedad que corresponde a los sistemas, porque todo sería complejo por definición! Personalmente, todavía no he resuelto el problema de por qué la noción de complejidad debe estar asociada necesariamente a la forma sistémica, aunque tengo algunas ideas al respecto.

El segundo elemento común a las definiciones de complejidad hace hincapié en la *dificultad para entender algo*. Este concepto también es vago y problemático. Por ejemplo, hablar chino sería para mí algo complejo, pero es algo simple para los chinos. Resolver multiplicaciones elementales es simple para la mayoría de los seres humanos adultos, pero no para los niños pequeños. ¿Qué significa que algo complejo es algo difícil de entender? ¿Quiere decir que la complejidad es relativa al sujeto que la enfrenta, y lo que es complejo para unos no lo es para otros? Algunos autores han optado por esta postura, pero en mi opinión no es satisfactoria porque hay cosas que sabemos que son *objetivamente* complejas (como entender la economía!) para todos los seres humanos y no sólo para algunos.

No quiero extenderme más en esta dirección, porque esto me llevaría a una discusión *ontológica* (es decir, acerca de la naturaleza) de la complejidad; en otras palabras, tendría que comenzar a discutir *qué significa que algo sea complejo en la realidad*. Este es un tema filosófico apasionante, que debería interesar y mucho a quienes practican las ciencias de la complejidad, pero que en la práctica raramente lo hace³.

4. Complejidad y economía

Hasta ahora estuve planteando el tema de la complejidad como un fenómeno científico en general. Pero ¿cómo fue que estas ideas llegaron a la economía, y qué se entiende y cómo se practica la complejidad *en economía*? En especial, ¿son las teorías de complejidad útiles para analizar fenómenos económicos? ¿Qué ventajas y desventajas presentan con respecto a los enfoques tradicionales? Aunque cada una de estas cuestiones merecería un análisis detallado en sí misma, en ésta y las siguientes secciones intentaré brindar algunas respuestas generales.

4.1. Origen de la complejidad en economía

Hay varios factores, internos y externos a la disciplina, que explican la gran aceptación que las ciencias de la complejidad están teniendo entre los economistas (Fig.2).

Entre los factores internos, el más importante es el estado poco feliz en que se encuentra la disciplina, lo cual ha sido reconocido no sólo por los críticos tradicionales de la economía neoclásica sino por muchos de sus defensores, y cada vez con más fuerza y en forma más generalizada. Las críticas apuntan no sólo al viejo tema del realismo de los supuestos, sino a una verdadera conciencia de que la economía tradicional es muy limitada

³ A riesgo de aburrir al lector, dejo planteada mi propia definición de complejidad. Si alguien desea opinar o contribuir a la discusión, estaré encantada de debatir el tema.

Definición de Eugenia de Complejidad:

La complejidad es una propiedad que caracteriza a un objeto (real) cuando: a) podemos identificar diferentes partes/aspectos/gente/etc. para el objeto en cuestión, que interactúan o se combinan de un cierto modo, tal que dan lugar a un 'todo'; y b) el sistema definido de esta manera es difícil de entender como una totalidad debido a los aspectos inherentemente no cognoscibles, o potencialmente cognoscibles pero no cognoscibles en el momento actual dado el estado de la ciencia, que existen a nivel real y que afectan a las partes y/o a sus interacciones y/o al todo.

Pareciera un concepto complejo pero, medido por la vara de mi propia definición, es simple!

Fig.2 ¿Por qué surge la complejidad en economía?



para explicar cuestiones que hoy se consideran centrales, como el papel de las instituciones, el carácter evolutivo de la economía, la irreversibilidad del tiempo (es decir, la importancia de la historia), la incertidumbre fundamental a la que están sujetos los seres humanos y por tanto las sociedades, la posibilidad de aprendizaje de los agentes económicos, etc. La economía tradicional, ciertamente, no ha brindado respuestas a estos problemas.

Por otra parte, algunos autores también cuestionan el costado empírico del enfoque tradicional (ver las citas en Lawson, 2003:8-11), señalando entre otras cosas su persistente incapacidad para brindar predicciones adecuadas. En general, muchas veces se ha atribuido esta falla predictiva no a problemas con la teoría, sino a limitaciones en los métodos estadísticos o a la mala calidad de los datos. Esta actitud tiene sus bemoles, pero sin entrar a discutir el tema, la conclusión es que la economía tampoco ha salido airosa en materia empírica.

La necesidad de contar con una teoría más relevante se observa inmediatamente en la gran cantidad de nuevos enfoques que han surgido en las últimas décadas para tratar de afrontar algunos de estos problemas, como la economía del comportamiento (behavioural economics) que toma en cuenta los aspectos psicológicos de los agentes, o la economía experimental que busca obtener datos ‘de primera mano’ sobre el comportamiento de los individuos, entre otros.

Las teorías de complejidad también son una respuesta en este sentido: lo que buscan es proponer una nueva manera de conceptualizar los fenómenos económicos, y de construir modelos más flexibles que tomen en cuenta aspectos hasta ahora ignorados por la teoría tradicional, como la interacción explícita de subgrupos de agentes, procesos de aprendizaje por prueba y error, un feedback permanente de lo ‘macro’ hacia lo ‘micro’, formación de redes de interacción y distintas ‘estructuras’ intermedias que pueden superponerse y/o organizarse jerárquicamente, etc. (ver más abajo en esta sección la caracterización de complejidad en economía del SFI).

Así como el surgimiento de las ciencias de la complejidad no fue un fenómeno independiente del contexto científico en el que se desarrolló, su adopción en economía también se corresponde con la evolución de la disciplina a lo largo del siglo 20. La economía tradicional estuvo signada por un número de hitos en este periodo: el inicio de la econometría en los ’30, la axiomatización de la micro en los ’50, y las ideas de los nuevos clásicos en los ’70 (especialmente su énfasis en los microfundamentos). En este contexto, la complejidad constituye el hito de los ’90 y no está aislada de los desarrollos previos, sino que los mismos pueden entenderse como una sucesión de intentos por adaptar o modificar la teoría tradicional existente, para ajustarla a las visiones y necesidades teóricas de la comunidad científica de economistas en cada momento.

Específicamente en lo que respecta a las teorías de complejidad, Boumans (1997) nota que en los ’70, Robert Lucas ya tenía conocimiento de los desarrollos en modelos de inteligencia artificial (con los que está emparentada la complejidad). Sin embargo, Lucas

optó por continuar trabajando con modelos convencionales de equilibrio general con agentes representativos, en un intento por rescatar (una vez más) las herramientas tradicionales, antes que implementar cambios más drásticos. Cuando finalmente se admitió que este tipo de enfoque tampoco proporcionaba respuestas adecuadas, las teorías de complejidad y los nuevos modelos que éstas proponían ya se encontraban allí, detrás del telón, aguardando su oportunidad.

Por este motivo es que en la Fig.2 mencioné a la evolución de la disciplina como un factor interno adicional que contribuye a la creciente aceptación de la complejidad por parte de los economistas. Desde otro punto de vista, este argumento también es planteado por Philip Mirowski, que en sus trabajos más recientes sostiene que todas las ciencias, pero especialmente la economía, están en proceso de transformación desde mediados del siglo 20 hacia lo que el autor denomina ‘ciencias ciberneticas’. Mirowski brinda una explicación bastante interesante de por qué cree que esto es así, y de cómo todos los hitos en la economía han sido pasos en esta dirección. El lector interesado puede hojear el paper “Los agentes económicos como cyborgs” (Mirowski, 1997), que es una versión resumida de su libro *Machine Dreams*, o bien la síntesis del libro publicada por Roy Weintraub (2004)⁴.

Entre los factores externos que contribuyeron al avance de la complejidad en economía – es decir, aquellos factores que no provienen desde dentro mismo de la disciplina o de sus practicantes –, el más importante ha sido sin duda la creación del Instituto Santa Fe en 1984. La razón por la cual la creación del SFI fue importante para el avance de la complejidad dentro de la economía es que, desde un primer momento, se estableció que la economía sería un área de desarrollo prioritario para el instituto.

Esto se debió a varios motivos (Colander, 2000b). En primer lugar, los empresarios que aportaron el dinero para fundar este centro de investigación estaban muy interesados (por la naturaleza de sus actividades, eminentemente financieras) en ver si las modernas ciencias de la complejidad podían proporcionar mejores modelos de decisión, en vista de la mala performance de los modelos económicos tradicionales. En segundo lugar, se vio que la economía poseía muchas de las características propias de sistemas complejos (auto-organización, agentes interdependientes, etc.), por lo cual se prestaba fácilmente al análisis de complejidad. Finalmente, muchos de los científicos que integraron el instituto desde un comienzo eran economistas (como Brian Arthur o Kenneth Arrow), por lo cual tenían conocimiento directo de los problemas en economía, lo cual también la volvía un área muy propicia para la implementación de las nuevas teorías.

Tal ha sido la influencia de este centro en promover las ideas de complejidad en economía, que hoy en día la visión de complejidad en economía es sinónimo de la visión del Santa Fe Institute. Pero ¿qué sostiene esta visión?

Como mencioné al comienzo, no hay un acuerdo general (incluso dentro del mismo SFI) respecto de qué es la complejidad. Sin embargo, existe un conjunto de lineamientos generalmente aceptados respecto de las características que deben tener los modelos correspondientes al nuevo enfoque. Estas características incluyen⁵:

⁴ Website: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6V8F-49M6SY9-4/2/f0ac361015240034eaa8f3dbb4f07f70>

⁵ Basado en Arthur, Durlauf y Lane (1997:3-4).

- Agentes heterogéneos que interactúan localmente (entre grupos de agentes, por oposición a interacciones globales = todos con todos), en forma no lineal
- Distintas ‘redes’ o estructuras que surgen de dichas interacciones
- Superposición de estructuras que dan lugar a una organización jerárquica
- Ausencia de control centralizado de las decisiones / interacciones
- Adaptación continua de agentes que poseen racionalidad limitada y aprenden en función de su experiencia previa
- Reconocimiento explícito de aspectos evolutivos y comportamiento fuera de equilibrio
- Métodos numéricos (simulación por computadoras) como principal herramienta de análisis, debido a la incapacidad de los métodos tradicionales (por ej. cálculo diferencial) para resolver este tipo de problemas

Con muchos matices y diferencias, vamos a encontrar que los modelos de complejidad en economía poseen, en general, las características enumeradas arriba.

Quiero terminar esta sección comentando brevemente los otros dos factores externos que señalé en la Fig.2. El primero de ellos está dado por los desarrollos en las ciencias naturales, principalmente los correspondientes a las teorías de estructuras disipativas de Prigogine, que constituyen la llamada ‘rama europea’ de la complejidad. Es posible encontrar en casi todos los trabajos en complejidad en economía, un reconocimiento a estos enfoques (y a Prigogine en particular) como precursores del avance de las teorías de complejidad en nuestra disciplina. Esto es correcto. Sin embargo y como me hizo notar el Profesor Velupillai (una autoridad en la materia), la influencia que estos desarrollos han tenido en economía es más bien retórica, la de una ‘guía intelectual’, pero no hay modelos de complejidad en economía que se centren concretamente en dichos desarrollos. Esto concuerda con la idea de que la visión dominante en economía, es la sostenida por el SFI.

El último factor externo mencionado, la ‘revolución de las computadoras’, ha sido una condición *sine qua non* para el boom de la complejidad. Si bien han existido en economía (especialmente de 1930 a 1950) notables avances en dinámica no lineal, los mismos quedaron en cierto sentido truncos por la imposibilidad de contar con herramientas adecuadas que les permitieran a los investigadores darse cuenta de la magnitud de las implicaciones de estos modelos. Son notables en este sentido, los esfuerzos sobrehumanos que hizo Kalecki intentando representar (infructuosamente) sus ideas no lineales a través del cálculo diferencial; o Goodwin, que llegó a modelar un ciclo límite. Con el desarrollo de las computadoras y el aumento masivo de la capacidad de procesamiento en las últimas décadas, el terreno se fue preparando para el avance de modernos desarrollos teóricos, como la complejidad, intensivos en el uso de la informática.

4.2. ¿Cómo se practica la complejidad en economía?

De acuerdo con lo que señalé en la sección anterior, las aplicaciones de las ciencias de la complejidad a la economía se centran esencialmente en la construcción de modelos dinámicos no lineales que permiten describir patrones de comportamiento agregado de los agentes. La implementación de estos modelos se lleva a cabo, fundamentalmente, a través de simulaciones, que a lo largo de múltiples iteraciones van arrojando las distintas configuraciones o ‘escenarios posibles’ que tienen lugar dentro del modelo.

Estos modelos pueden ser utilizados para describir distintos tipos de fenómenos en economía. El conjunto de tres volúmenes editado por JB Rosser (2004) recopila trabajos en áreas muy diversas, como interacciones sociales, dinámica de mercado, competencia imperfecta, fluctuaciones macroeconómicas y crecimiento, mercados financieros, economía internacional y de transición, economía regional y urbana, dinámica evolutiva, y sistemas económico-ecológicos.

Para hacerse una idea del campo de aplicación de las teorías de complejidad son también muy interesantes el conjunto de papers publicados en los anales de la segunda conferencia en complejidad y economía en el SFI, *La economía como un sistema complejo evolutivo II* (1997), la conferencia de la Asoc Europea de Política Económica Evolucionista EAEPE 2002, y la segunda conferencia en complejidad y política económica New 2004.

La mayoría de los papers anteriores son, sin embargo, bastante técnicos. Algunos trabajos más sencillos (y entretenidos para leer) son el libro de Paul Ormerod (1998), *Butterfly Economics* donde el autor, entre otras cosas, elabora un modelo hipotético sobre cómo surgen las grandes corporaciones en EEUU, o ensaya aplicaciones a los ciclos económicos. En otro de sus artículos, “Social networks and information”, Ormerod (2002) muestra, por ejemplo, cómo la probabilidad de conseguir empleo depende de la ‘red de contactos’ que tiene un agente.

Otro paper bastante didáctico y a la vez muy interesante es el modelo propuesto por Geoff Hodgson (2001), uno de los institucionalistas más reconocidos a nivel mundial, cuyo objetivo es mostrar cómo emerge una convención social: la dirección del tráfico. También en la edición de Mayo de 1994 del AER, hay un mini-simposio sobre complejidad que recoge tres artículos por Arthur, Krugman, y Scheinkman y Woodford, respectivamente. Finalmente, algunos papers más generales pueden encontrarse en los dos volúmenes (clásicos en la materia) editados por Colander (2000b, 2000c).

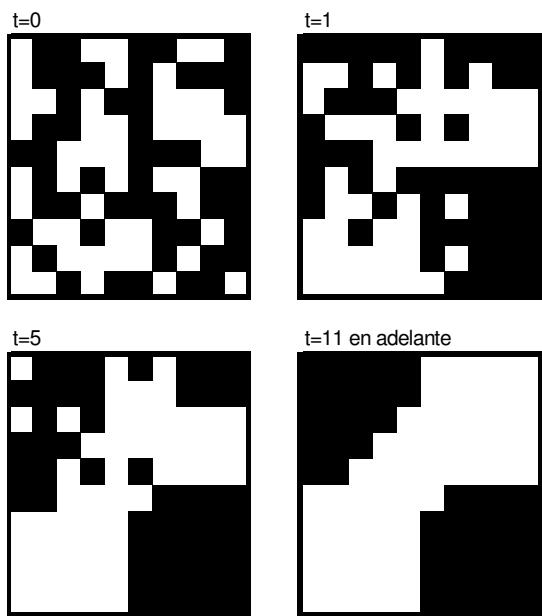
En cuanto a los modelos de simulación que se utilizan en el análisis, el libro de Gilbert y Troitzch (1999) *Simulación para el científico social*, es bastante instructivo y presenta distintos métodos a lo largo de sus capítulos. Las entradas por Zhang “Simulation” y Georganzas “Simulation modelling”, en la Enciclopedia Internacional de Negocios y Management (2002), brindan un panorama más sucinto y general del tema.

Uno de los métodos de simulación más sencillos y más utilizados es el de autómatas celulares, en donde se trabaja con una grilla (de dos o más dimensiones) en que cada celda representa un agente con determinadas características asignadas en el momento inicial. Mediante la determinación de ciertas ‘reglas de interacción (o de transición)’, que establecen cómo se comportarán los agentes en función de lo que hacen sus vecinos, se observa lo que sucede a lo largo de numerosas iteraciones. En general, el objetivo de estos modelos es mostrar cómo aparecen configuraciones o patrones de comportamiento a nivel agregado, con ciertas características particulares.

En la Fig.3 presento un ejemplo muy simple basado en la regla de la mayoría. Comenzando con una distribución inicial de 100 agentes idénticos, donde 50 eligen ‘blanco’ y 50 eligen ‘negro’ en forma aleatoria, se establece la siguiente regla:

Si la mayoría de los ‘vecinos’ de un agente (esto es, $n \geq 4$ o condiciones similares para los bordes) elige blanco [negro] en el momento t , el agente elegirá blanco [negro] en $t+1$, para $t=0 \dots \infty$

Fig.3 Ejemplo de autómata celular



aparecen ‘paisajes’ o ‘configuraciones en el mapa’, en donde grupos diferenciados de agentes adoptan comportamientos similares.

Hay ejemplos en que este tipo de modelos se ha utilizado para mostrar la distribución de intenciones de voto, segmentación del mercado, patrones de asentamiento industrial, emergencia de cierto tipo particular de configuración (que a veces los autores asocian a la idea de aparición de una cierta ‘institución’), difusión de modas, aparición de convenciones sociales, etc.

5. Los pros y contras de la complejidad en economía

Hasta ahora he dado por supuesto que las teorías de complejidad – y la forma particular que éstas adoptan en la economía – representan, en efecto, un avance respecto de la teoría (neoclásica) tradicional y una respuesta a muchos de sus problemas. Pero ¿en qué medida esto es así? En las siguientes secciones intentaré señalar algunas de sus ventajas y críticas.

5.1. ¿Es la complejidad una buena alternativa a los modelos tradicionales?

Una primera comparación entre los modelos de complejidad y los tradicionales es la llevada a cabo por Colander (2000b:6-7), que por medio de una tabla comparativa señala los supuestos y características de unos y otros, a quienes el autor denomina ‘nueva economía’ y ‘vieja economía’, respectivamente. La tabla se reproduce más abajo (Tabla 1) y muestra que los modelos de complejidad pretenden ser ciertamente más flexibles y abarcativos que los tradicionales, en cuanto a que tienen en cuenta una dinámica mucho más rica, la heterogeneidad de los agentes individuales, la importancia del marco institucional, etc.

En la figura se muestran los resultados para $t=0,1,5$ y 11; donde se llega a una configuración estable para la distribución inicial considerada (nótese que estoy evitando la palabra ‘equilibrio’ deliberadamente). El modelo propuesto es extremadamente simple y sirve sólo a los fines de proporcionar una ilustración gráfica o visual de este tipo de análisis; sin embargo, puede hacerse tan complicado como se quiera. Puede trabajarse con reglas de interacción muy sofisticadas, dotar a cada agente de características diferenciales (por ej. mayor o menor poder para influir sobre los vecinos), incorporar componentes aleatorios (por ej. que representen excepciones a la regla), distinguir entre más de dos opciones (no sólo ‘blanco’ o ‘negro’), y así sucesivamente. El resultado será, no obstante, el mismo: mostrar cómo

Tabla 1 Economía: Vieja y Nueva

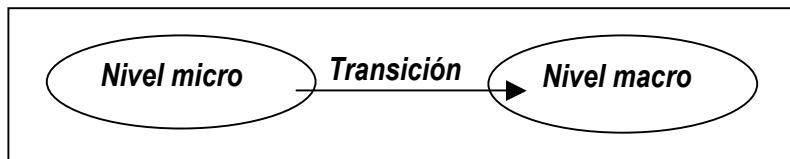
<i>Vieja Economía</i>	<i>Nueva Economía</i>
Rendimientos decrecientes	Gran uso de rendimientos crecientes
Basada en principios de marginalidad y maximización (beneficio como motivación)	Otros principios son posibles (principios de orden)
Preferencias dadas; individuos egoístas	La formación de preferencias es central; individuos no necesariamente egoístas
La sociedad es un telón de fondo	Las instituciones pasan a primer plano: papel fundamental en la determinación de posibilidades, orden y estructuras
Tecnología dada o seleccionada por motivos económicos	Tecnología inicialmente fluida, que luego tiende a asentarse
Basada en la física del siglo 19 (equilibrio, estabilidad, dinámica determinística)	Basada en la biología (estructuras, patrones, auto-organización, ciclo de vida)
El tiempo no es tomado en cuenta (Debreu) o es tratado superficialmente (crecimiento)	El tiempo es central (estructuras, patrones, auto-organización, ciclo de vida)
Se ocupa muy poco de la edad	Los individuos pueden envejecer
Enfasis en cantidades, precios y equilibrio	Enfasis en estructura, patrón y función (de la ubicación, tecnología, instituciones y posibilidades)
Los elementos son las cantidades y los precios	Los elementos son patrones y posibilidades; estructuras compatibles llevan a cabo algunas funciones en cada sociedad (cf. antropología)
Lenguaje: matemática del siglo 19, teoría de los juegos y topología de puntos fijos	Lenguaje más cualitativo; teoría de los juegos reconocida por sus usos cualitativos; otro tipo de matemática cualitativa también es útil
El cambio generacional no se observa	El cambio generacional es central; cambia la composición de los miembros de la economía y la estructura etárea de la población; las generaciones transmiten sus experiencias
Alto uso de índices; individuos idénticos	Enfasis en individualidad; la gente es diferente; relación entre el individuo y los agregados en ambas direcciones; índices de bienestar diferentes y usados como medida muy general; lapso de vida del individuo como medida
Si no hubiera externalidades y todos tuvieran las mismas habilidades, se alcanzaría el Nirvana	Las externalidades y las diferencias son la fuerza motriz; no hay un Nirvana; el sistema está constantemente en desarrollo
No hay dinámica real en el sentido de que todo está en equilibrio (cf. pelota pendiente de un hilo en movimiento circular); no hay cambio real, sólo suspensión dinámica	La economía está constantemente al filo del tiempo; corre hacia adelante, con estructuras en continua fusión, decaimiento, cambio. Esto se debe a externalidades que llevan a comportamientos dinámicos irregulares, rendimientos crecientes, costos de transacción; exclusiones estructurales
La mayoría de las preguntas no tienen respuesta; sistema unificado incompatible	Las preguntas siguen siendo difíciles de responder; pero los supuestos están claramente enunciados
Ve al sujeto como estructuralmente simple	Ve al sujeto como inherentemente complejo
Economía como una física blanda	Economía como una ciencia de la complejidad
'Hipótesis testeable' (Samuelson) supone que existen leyes	Los modelos son ajustados a los datos; un ajuste es un ajuste; no hay leyes realmente posibles; las leyes cambian
El intercambio y los recursos mueven la economía	Las externalidades, las diferencias, los principios de ordenamiento, la computabilidad, la mente, la familia, el ciclo de vida potencial y los rendimientos crecientes mueven las instituciones, la sociedad y la economía

Fuente: traducción en base a la Tabla 1.1, en Colander (2000b:6-7)

Otra manera de comparar los modelos de complejidad con los tradicionales es utilizando la forma sistémica (Fig.4). Más arriba, hice referencia a que una de las características generalmente aceptada de la complejidad es que se refiere a sistemas de agentes que interactúan, dando lugar a un ‘todo’. Sin embargo, también es posible (y sencillo) imaginar a los modelos tradicionales como sistemas, a los fines de efectuar una comparación directa entre ambos.

Podemos identificar tres partes o niveles en un sistema: un nivel *micro* o primario (correspondiente a las ‘partes’, en este caso los agentes económicos); un nivel *macro* o secundario (correspondiente al ‘todo’, en este caso los agregados económicos); y un nivel *meso*, intermedio o de transición, que representa la conexión entre los dos anteriores (lo que en economía comúnmente se conoce como el mecanismo de agregación). Ahora bien, ¿por qué vienen dados cada uno de los niveles en los modelos (neoclásicos) tradicionales y en los modelos propuestos por las teorías de complejidad?

Fig.4 Forma sistémica



Nivel micro

a) *Modelos tradicionales*: la unidad de análisis es el individuo, caracterizado como el Agente Económico Racional (donde racionalidad = optimización). Los agentes son atomísticos, porque no tienen estructura (es decir, no son un sistema en sí mismos) y responden pasivamente a las fuerzas del mercado.

b) *Modelos de complejidad*: la unidad de análisis también es el individuo, pero el supuesto de racionalidad no es sinónimo de optimización (racionalidad = comportamiento satisfactorio, de acuerdo a las características del contexto en que se mueve el agente). Los agentes tienen algo más de estructura (por ejemplo, mecanismos psicológicos que los llevan a ‘aprender’ dentro del modelo) y no son vistos como átomos pasivos, sino como autómatas que se adaptan activamente.

Nivel macro

a) *Modelos tradicionales*: trabajan con ‘resultados’ agregados dados por el valor puntual de una variable (por ej. nivel de precios, tasa de interés, precio y cantidad de mercado), a la que se le asignan ciertas propiedades, en particular la de ser un valor de equilibrio. No pueden explicar la aparición de ‘entidades’ agregadas.

b) *Modelos de complejidad*: también trabajan con resultados agregados, pero en este caso no están dados por el valor puntual de una variable agregada, sino por una configuración (o mapa, o paisaje) que representa un *patrón de comportamiento* agregado. Dichos patrones de comportamiento están en constante transformación y no están caracterizados por el equilibrio. Al igual que los modelos tradicionales, tampoco explican la aparición de entidades agregadas.

Nivel intermedio o de transición

a) Modelos tradicionales: no hay interacción directa entre los agentes, sino indirecta a través del mercado. El mecanismo de agregación es usualmente lineal y aditivo (correspondiente a la sumatoria de las decisiones de individuos idénticos) o, lo que es lo mismo, la economía se reduce a un único agente. Es a este nivel meso, que se introduce el supuesto del ‘agente representativo’, para garantizar la agregación⁶.

b) Modelos de complejidad: este nivel es muy importante, ya que una contribución fundamental de estos modelos es la de modelar la interacción de los agentes en forma explícita. El mecanismo de agregación es no-lineal y no-aditivo. Las interacciones pueden ser globales (todos con todos) o locales (entre sub-grupos de agentes). Puede haber interacciones a distintos niveles, conformándose ‘jerarquías’ y ‘redes’. Se rechaza de plano el supuesto del agente representativo, en favor de la consideración explícita de la heterogeneidad y las relaciones entre los agentes⁷.

En conclusión, de la comparación entre modelos tradicionales y modelos de complejidad, surge que los últimos son mucho más flexibles que los primeros. Un hecho notable es que la mayor parte de los supuestos fundamentales de la teoría neoclásica – como el principio de racionalidad basado en la optimización, la idea de equilibrio, y el supuesto del agente representativo – son vistos como demasiado rígidos y poco explicativos de los fenómenos económicos, y por lo tanto son desechados en principio. En su lugar, se trabaja con agentes heterogéneos que se adaptan y se desenvuelven en un marco evolutivo, dando lugar a estructuras agregadas e intermedias que se superponen y se conectan en modos muy sofisticados.

Los modelos de complejidad también son más amplios en cuanto a que proponen una dinámica mucho más rica que los modelos tradicionales, ya que trabajan con sistemas no lineales que pueden llevar a comportamientos de todo tipo: estables, inestables, cílicos, caóticos, de auto-organización, etc. Dentro de este tipo de sistemas la predicción, en general, no es posible más allá de un cierto número de períodos y en esto también difieren de los modelos tradicionales, que hacen de la predicción (de valores puntuales y exactos) su razón de ser. La predicción en los modelos de complejidad toma un cariz más cualitativo; no se predicen valores puntuales sino ‘escenarios posibles’.

Otro elemento interesante que es reconocido explícitamente por los modelos de complejidad (no así en los tradicionales) es el feedback del nivel macro al micro, o desde el comportamiento agregado hacia los agentes individuales. Esto es muy importante, ya que los agentes evalúan su situación en relación al resultado agregado después de cada decisión y toman medidas en consecuencia, como por ejemplo cambiar sus objetivos, utilizar nuevas herramientas de análisis, desechar o modificar su esquema de decisión, etc. En definitiva, gracias a este feedback los agentes pueden aprender⁸.

⁶ Los lectores interesados en saber por qué esto es así, pueden consultar Keen (2001, Cap.2) y Kirman (1992).

⁷ En este sentido, los complejólogos Arthur, Durlauf y Lane (1997:3) afirman en forma categórica que el enfoque tradicional “...generalmente no tiene éxito en acomodar la distinción entre *agente* y *niveles agregados* (excepto camuflándola a través del concepto de ‘agente representativo’)”.

⁸ Una consecuencia notable es que en este contexto, la racionalidad no necesariamente es algo que viene dado, sino que es algo relativo a cada modelo y que se aprende dentro del mismo; en otras palabras, la cualidad de ‘ser racional’ es algo que se aprende y se construye colectivamente.

En consecuencia, la respuesta a la pregunta de si las teorías de complejidad representan, en efecto, un avance respecto de la teoría (neoclásica) tradicional, es afirmativa. Y el cambio de visión es bastante drástico, de ahí que algunos autores le atribuyan a la complejidad un carácter revolucionario. Sin embargo, y a pesar de lo dicho anteriormente, la posición de los economistas que trabajan en ciencias de la complejidad no es la de considerar a los nuevos desarrollos como una alternativa a la teoría neoclásica incompatible con aquélla, sino más bien como un complemento, como un marco de pensamiento más general y mucho más flexible, que admite a los modelos tradicionales como casos particulares (y de ocurrencia poco probable) del mismo (Colander, 2000b, Cap.1).

5.2. ¿Deberíamos volvemos todos complexólogos? Algunos problemas con las teorías de complejidad

Hasta ahora me esforcé en mostrar el costado positivo de la complejidad y la manera en la que contribuye a superar la visión limitada del enfoque tradicional en economía. Sin embargo, como sucede con cualquier área del conocimiento, no está exenta de limitaciones. En esta sección trataré de comentar algunas de estas limitaciones, que es importante tener en cuenta en estos momentos en que las ideas de complejidad se están expandiendo aceleradamente en la disciplina.

La crítica más importante a los modelos de complejidad es lo que se puede denominar como la falta de *grounding*, es decir, de conexión con los fenómenos (económicos) que se trata de explicar. Si los complexólogos se dedican a construir modelos de interacción de agentes, donde las características de los agentes y sus interacciones están dadas por reglas impuestas a priori que no tienen ningún contacto con la realidad, entonces lo único que estarán haciendo es crear ‘jueguitos de computadora’. Leijonhufvud es elocuente en este sentido cuando expresa:

Si todo lo que uno hace es jugar con las ecuaciones que especifican las interacciones entre pixels, el resultado, obviamente, es sólo otro juego Nintendo (1995:1500)

Esta es una crítica muy seria, porque si bien las teorías de complejidad se están expandiendo rápidamente en economía, la mayoría de sus practicantes no hace demasiados esfuerzos por tratar de utilizar estas teorías para crear modelos que expliquen (algún aspecto de) la realidad. En otras palabras, las ‘reglas’ que describen el comportamiento de los agentes en el modelo no son obtenidas a través de relevamientos empíricos que las legitimicen como ‘reglas plausibles’ para explicar un fenómeno determinado, sino que son inventadas o impuestas ‘a ojo’!

Uno podría pensar que el construir jueguitos imaginarios puede servir para perfeccionar la técnica, o con fines pedagógicos. Esto es razonable. Pero es preocupante cuando el 99% de los economistas que está trabajando en modelos de complejidad está experimentando con simulaciones hipotéticas de todo tipo, ya que no queda claro cuál podría ser la utilidad concreta de estos modelos, o si se desempeñan bien o no.

Quizás, desde una perspectiva optimista, dicha actitud podría explicarse por la novedad que representan estos modelos, pudiéndose esperar que en un futuro próximo los economistas se ocupen más de aplicaciones más substantivas o conectadas con la realidad. Ya algunos economistas han empezado, de a poco, a alertar en contra del desarrollo indiscriminado de modelos *per se*:

Lo que estoy criticando es el uso de tales algoritmos sin ninguna justificación de por qué son apropiados, ni ninguna modificación para hacerlos apropiados.

Por lo tanto, muchos modelos basados en agentes no logran escapar a los problemas de los modelos más tradicionales, ya que intentan usar un conjunto de agentes que interactúan para reproducir algún resultado global, sin siquiera saber si el comportamiento de los agentes individuales es (aunque sea algo) realista. El deseo del ‘truco mágico’ todavía está ahí. (Edmonds, 2001)

Por otra parte, desde una perspectiva más pesimista, es bastante difícil imaginar que los economistas (al menos los académicos) vayan a estar dispuestos a destinar tiempo, recursos y prestigio en desarrollar modelos de complejidad cuyas reglas reflejen características reales de la sociedad. El hacerlo implicaría un costo muy alto, porque habría que hacer toda una investigación previa del fenómeno que se quiere analizar, antes de plasmarlo en un modelo de simulación concreto. Esto requiere muchas veces de la utilización de otros métodos, como análisis estadísticos, estudios de casos, encuestas, investigaciones históricas, etc., que usualmente demandan mucho tiempo y trabajo interdisciplinario. Lo anterior, unido a la presión por publicar que existe en los círculos académicos actuales, hacen que sea más fácil ‘cambiar un parámetro’ a algún modelo existente, ver qué sucede y publicar los resultados, antes que abocarse a la tarea tediosa e incierta de investigar un fenómeno concreto.

A lo anterior debe añadirse que el criterio generalmente aceptado entre la comunidad de economistas hoy en día, es que lo importante no es construir modelos adecuados, que se demuestre que explican la realidad, sino modelos que cumplen con el requisito de ser representaciones matemáticas elegantes. Por todas estas razones, estimo que el potencial de las teorías de complejidad para explicar fenómenos sociales o económicos del mundo actual, no va a ser desarrollado en los departamentos de economía, sino en las grandes escuelas de negocios, ciencias sociales y ciencias políticas. Pero esto no es nada más que una conjeta personal.

Otro autor que ha llamado la atención acerca de los problemas de la complejidad, esta vez a nivel de las ciencias en general, es el periodista científico John Horgan, que escribió una nota (ampliamente citada) en el *Scientific American*, “De la complejidad a la perplejidad” (1995). A su vez, dicha columna forma parte de un libro del mismo autor sobre el final de las ciencias, en donde dedica un capítulo especial a “El final de la caoplexología”⁹ (1997). Entre otras cosas, Horgan llama la atención sobre el deseo de los complejólogos de construir una ‘ciencia unificada’ y también menciona el problema de la falta de grounding. Pero quizás un aspecto que merece destacarse es lo que él denomina como el ‘síndrome de reminiscencia’ que sufren los investigadores dedicados a simular sistemas complejos:

⁹ Este término surge de la combinación de caos+complexología y es utilizado en forma irónica por Horgan.

Ellos [los complexólogos] dicen, ‘¡Mira! ¿No te hace [esta simulación] acordar a tal o cual fenómeno físico o biológico?’ Y entonces se lanzan sin pensarlo, como si fuera un modelo decente para el fenómeno y usualmente, por supuesto, sólo tiene algunas características accidentales que lo hacen ver como algo parecido (1995:104).

Finalmente, en uno de mis papers recientes (Perona, 2004b), planteo un conjunto de problemas metodológicos que caracterizan a la complejidad en economía. No voy a discutir el tema en detalle porque sería alejarme demasiado de la cuestión central que me ocupa en este trabajo, que es brindar una caracterización general del significado e implicaciones de las modernas teorías de complejidad en economía.

Sin embargo, mi argumento puede resumirse de una manera sencilla, diciendo que los economistas interesados en la complejidad confunden todo el tiempo (y a veces de manera grosera) lo que es la complejidad *de la economía*, por una parte, con lo que es la complejidad *de los modelos económicos*, por otra. Esta distinción, que no es trivial, lleva a su vez a muchísimas confusiones, y a que estos economistas se muestren perplejos o intrigados ante numerosos aspectos de la complejidad, lo cual no ocurriría si existiera una conciencia clara de la distinción¹⁰.

Por ejemplo, es muy común encontrar en la literatura que los autores ‘saltan’ de un concepto al otro sin siquiera notarlo. A veces escriben que los modelos no lineales son adecuados, porque la economía (en la realidad) es evidentemente no lineal, o caótica (¿!). O también es muy frecuente encontrar a los complexólogos afirmando que las nuevas teorías pueden explicar ‘cómo emergen las instituciones’. Esto es muy ilustrativo del problema al que estoy haciendo mención, porque una cosa son las instituciones en la realidad (como el Código Civil Argentino, el Banco Central, la Universidad de Córdoba, o la costumbre de cenar después de las 21hs.), y otra cosa muy distinta es llamar ‘instituciones’ a una configuración particular que surge de simular por computadora el comportamiento de un conjunto de agentes virtuales.

Si estos modelos de simulación sirven para explicar cómo surgió una convención social (por ej. cenar después de las 21hs.), o cómo evolucionó alguna institución (por ej. cuántos bancos surgieron en Argentina durante los últimos 50 años), es una cuestión que no es evidente por sí misma, y que en todo caso debe demostrarse. Esto hace, justamente, a la relación entre teoría y realidad, o modelos y realidad. Pero los economistas que trabajan en complejidad, al no tener presente esta distinción: i) reducen una cosa a la otra, es decir, *mezclan* la teoría con la realidad, y por lo tanto ii) justifican que los modelos de complejidad son buenos modelos, *asumiendo o tomado como dado* que son representaciones adecuadas de la realidad¹¹.

Un elemento que contribuye a este problema es que muchas veces se utiliza la misma terminología – instituciones, complejidad, historia, irreversibilidad del tiempo, propiedades emergentes, auto-organización, aprendizaje, incertidumbre, evolución, etc. –, para referirse a cosas distintas.

¹⁰ En mi paper aplico esta distinción para entender tres problemas concretos: 1) ¿por qué existen múltiples definiciones de complejidad?, 2) ¿por qué los economistas que trabajan en complejidad incurren en tantas inconsistencias metodológicas?, y 3) ¿es la complejidad un enfoque de los llamados ‘heterodoxos’, o no? y ¿por qué algunos economistas heterodoxos – austríacos, institucionalistas, post-keynesianos, evolucionistas, realistas críticos, etc. – están tan interesados en los nuevos modelos?

¹¹ En este sentido también están sujetos al ‘síndrome de reminiscencia’ que menciona Horgan (1995).

Lo curioso es que, al mismo tiempo que muchos complexólogos confunden y mezclan la complejidad de la economía con la complejidad de los modelos computacionales, puede verse a estos mismos investigadores afirmando que los últimos son independientes de la primera:

[El enfoque de la complejidad y la simplicidad]... tiene poco que ver con cuán compleja uno cree que es la economía... (Colander, 2000b:2).

Cabe preguntarse ¿en qué quedamos? Por un lado, los economistas sostienen que los modelos de complejidad son independientes de la complejidad de los fenómenos económicos – lo cual es un criterio instrumentalista, criticable por varios motivos, pero válido si se sigue coherentemente – pero por otro confunden (en forma manifiesta) la complejidad de los modelos con la complejidad de la economía, o justifican que los modelos de complejidad son mejores que otros (por ejemplo, que los modelos neoclásicos tradicionales), diciendo que son mejores representaciones de la realidad (económica). O sea que para estos complexólogos, la complejidad de los modelos y la complejidad de la economía, a veces no tienen nada que ver, y a veces tienen todo que ver, según la página del paper que uno lea.

Lo anterior, para concluir, no es sino una manifestación de un hecho persistente y recurrente en economía: el desinterés de los economistas por entender los fundamentos (metodológicos) de su disciplina. Las nuevas ideas de complejidad ponen de manifiesto, una vez más y en forma bastante explícita, muchos de los problemas e inconsistencias que surgen por este desinterés. En este sentido, espero que la complejidad también sirva como un llamado de atención para el futuro, mostrando la necesidad de comprender los fundamentos de las teorías con las que trabajamos a diario.

Mario Bunge ya comentaba, en un artículo de 1957:

...el científico que alguna vez dedique una parte de su tiempo a estudios epistemológicos podrá obtener de estos algunos de los siguientes beneficios:

- a) no será prisionero de una filosofía incoherente y adoptada inconscientemente...;
- b) no confundirá lo que se postula con lo que se deduce, la convención verbal con el dato empírico, la cosa con sus cualidades, el objeto con su conocimiento, la verdad con su criterio, y así sucesivamente...;
- c) se habituará a explicar las suposiciones e hipótesis, lo que le permitirá saber qué es lo que hay que corregir cuando la teoría no concuerda satisfactoriamente con los hechos;
- d) se acostumbrará a ordenar sistemáticamente las ideas y a depurar el lenguaje; se habituará, en suma, a buscar la coherencia y la claridad;
- e) afilará su bisturí crítico: la meditación epistemológica, al habituarse a exigir pruebas, es buen preventivo del dogmatismo;
- f) ...podrá mejorar la estrategia de la investigación, al proceder con mayor cuidado en el planeamiento de los experimentos o de los cálculos y en la formulación de las hipótesis, así como en la evaluación de las consecuencias de unos y otras...;
- g) su atención se desplazará del resultado al problema, de la receta a la explicación, de la ley empírica a la ley teórica... [y] al tornarlo protestón, podrá estimularlo a explorar nuevos territorios... (2001:141-142).

6. Algunas preguntas finales

Para recapitular, mi objetivo en este trabajo fue el de proporcionar al lector un panorama general y bastante amplio del significado, potencialidades y limitaciones de los modernos desarrollos en las ciencias de sistemas complejos. A lo largo de las distintas secciones discutí: i) cuándo, cómo, dónde y por qué, surge y/o se está desarrollando la complejidad; ii) las características particulares que adquieren las ciencias de la complejidad en economía; iii) distintas aplicaciones y métodos asociados a las mismas, y iv) las ventajas y limitaciones de este tipo de enfoque. En esta sección, quisiera concluir con tres preguntas finales.

- Ø *En síntesis ¿constituye la nueva visión de la complejidad un aporte promisorio a la teoría económica?*

En la Sección 5 me explayé sobre los pros y contras de la complejidad en economía. Si tuviera que dar un veredicto final (y en esto mi apreciación es totalmente personal), mi posición sería la de un moderado optimismo, con reservas.

Indudablemente, los modelos de complejidad son una alternativa más amplia a los modelos tradicionales, con una flexibilidad mucho mayor para representar aspectos esenciales que los viejos modelos (por su estructura rígida) no pueden tomar en cuenta, como el aprendizaje de los agentes dentro del modelo, la interacción entre grupos de individuos, la conformación de redes, etc.

Sin embargo, no debe perderse nunca de vista que lo que se está simulando es el comportamiento de agentes virtuales, y no de agentes reales. Don Lavoie – un reconocido economista dentro de la tradición austriaca – es consciente de esto al expresar:

¿Cuánto de todo esto puede ser representado en forma útil por un modelo de computadora? Sólo una parte, seguramente... La complejidad de la ‘economía virtual’ no está, por cierto, ni siquiera cerca a la de las economías reales, tanto como la inteligencia del ‘agente virtual’ no está ni siquiera cerca a la de los seres humanos (1994:553-4).

Por otra parte, no creo que los modelos de complejidad vayan a ser útiles, en tanto y en cuanto continúen siendo juguetes teóricos y no se preste atención al problema del grounding, de *conectar* la representación teórica con las características reales del fenómeno que se trata de analizar. Para esto se necesita proceder con mucho cuidado, especificar bien el modelo, justificar todos los pasos, si se hacen supuestos simplificadores decir por qué se utilizan dichos supuestos y no otros, enunciar sus limitaciones en forma explícita, etc. Fundamentalmente, el modelo debe ser acompañado por una investigación empírica previa del problema bajo estudio.

Asimismo, aún cuando se trabaje en forma seria y se logre desarrollar un ‘buen modelo’, y aún cuando estos desarrollos parezcan muy promisorios, siempre es importante tener en cuenta que el análisis de complejidad no es ‘el’ método, sino un método entre tantos, ni mejor ni peor que los demás, y que muchas veces puede ser complementado por otros. Qué tan adecuado sea en relación a otro tipo de análisis dependerá, en última instancia, del problema particular que se estudie.

80 ¿Qué implicaciones tienen las ciencias de la complejidad para la política económica?

Esta es una pregunta muy frecuente y su respuesta es muy interesante. A pesar de que algunos autores han argumentado que las ideas de complejidad son compatibles con políticas intervencionistas, y otros tantos han sostenido que la complejidad es consistente con el libre mercado, lo cierto es que, en realidad, estas teorías son neutrales con respecto a la política económica.

El argumento en favor del intervencionismo sostiene que las características dinámicas de una economía pueden llevarla a sufrir un *lock-in* (es decir, quedar ‘atrapada’ en una situación histórica determinada), en donde la única manera de salir de ella es mediante la intervención de un agente con suficiente capacidad de impacto y con poder para cambiar ciertas reglas, como lo es el gobierno. El correlato de esta idea en un modelo de interacción de agentes sería un caso como el de mi ejemplo en la Fig.3; una vez que se alcanza la configuración correspondiente a $t=11$, ya no es posible salir de ella. Como las teorías de complejidad presuponen que una cierta configuración o ‘estado del modelo’ no es necesariamente ni de equilibrio, ni óptimo, los investigadores han pensado que, de ocurrir esto en la realidad, una economía podría quedar atrapada en un estado no deseado. Correspondría al gobierno, entonces, intervenir en estos casos para ‘rescatarla’ de dicho estado no deseado.

El argumento en favor del libre mercado afirma que, dado que el futuro es incierto e impredecible, el gobierno en realidad no tiene la capacidad de evaluar cuáles serán las consecuencias de su intervención (a menos que le asignemos ‘poderes superiores’). Por lo tanto, podría darse el caso de que, aunque las autoridades actuaran con buenas intenciones con el objeto de rescatar a la economía de una situación socialmente no deseada, las consecuencias de dicha intervención fueran tales que la economía terminara en una situación igual o incluso peor, que la anterior¹². En términos de los modelos de interacción de agentes, el carácter no lineal de los mismos hace que (no en principio, sino en la práctica) sea imposible predecir las consecuencias de algún cambio de parámetros más allá de un cierto número períodos. Por lo tanto, nada garantiza que la intervención de un agente como el gobierno vaya a ser (a la larga) positiva.

En definitiva, y como lo reconoce Colander (2000b), la complejidad es neutral con respecto a la política, ya que puede avalar argumentos en uno y otro sentido. En un contexto dinámico, donde evolución no es sinónimo de progreso ni de optimalidad, y donde la predicción no es posible, el papel de un agente con características particulares como el gobierno sería más bien el de ‘pilotear’ la situación, diseñando estrategias a mediano plazo, las cuales estarían sujetas a revisión continua.

Trasladando las intuiciones que nos brindan los modelos de complejidad al ámbito de la realidad, lo anterior significaría que la función de los economistas que ocupan cargos importantes en la política económica de un país, es más bien la función de un gerente, que intenta diseñar estrategias inteligentes para manejar una situación lo mejor que puede, en un contexto de subjetividad e incertidumbre. Esto coincide (la historia tiene sus vueltas!)

¹² Con distintos matices, estas posiciones reflejan el debate (no resuelto) que tuvo y tiene lugar entre los postkeynesianos y los austriacos, respectivamente.

con la idea que ya sostenía Keynes a comienzos del siglo 20, para quien el economista (que hace política económica) es una persona con características o dotes poco comunes que debe ser, en cierta medida, matemático, historiador, estadista, filósofo, político y artista¹³.

∅ *Complejidad: ¿la economía del siglo 21?*

Termino con la pregunta que le dio título a este trabajo. ¿Podemos esperar, como sugieren algunos científicos, que las ciencias de la complejidad llegarán a dominar la economía en los próximos 30 a 50 años?

Dar una respuesta concreta a esta pregunta sería hacer futurología. No obstante, mi opinión es que las ideas, teorías y métodos de la complejidad van a continuar difundiéndose y posiblemente jugarán un papel importante en el futuro de la economía, tanto a nivel de la investigación como de la enseñanza.

A lo largo de esta reseña he intentado ser lo más objetiva posible al presentar el tema y en ningún momento ha sido mi intención predisponer al lector a favor o en contra de las teorías de complejidad, o de alguno de sus ámbitos de aplicación. Cada uno es libre de sacar sus propias conclusiones. Mi mensaje es, simplemente, que independientemente de la posición que tomemos con respecto a las nuevas ciencias de la complejidad, lo que no podemos hacer es ignorarlas.

7. Lecturas recomendadas para una introducción a la complejidad

Es difícil recomendar lecturas introductorias a las ciencias de la complejidad, ya que no existen exposiciones completas y a la vez didácticas del tema, especialmente en economía. Sin embargo, el siguiente material puede resultar de interés:

- Las páginas de internet de los centros de investigación que mencioné en la Sección 2, constituyen un punto de partida natural para una primera aproximación a la complejidad en las ciencias en general.
- A su vez, el sitio <http://calresco.org/lucas/quantify.htm> proporciona, en forma bastante resumida, un conjunto de definiciones, especialmente acerca de distintos tipos de sistemas complejos y la cuantificación de la complejidad.
- Los artículos breves de Buchanan (2004) y Horgan (1995) plantean una visión optimista y pesimista, respectivamente, de la complejidad y están escritos en un lenguaje accesible para el público en general. [Muy recomendable]
- Específicamente en lo que hace a complejidad y economía, lo más parecido a un libro de texto (y por dónde también sugeriría comenzar), son los dos volúmenes editados por David Colander, *The complexity vision and the teaching of economics* (2000b) y *Complexity and the history of economic thought* (2000c). [También muy recomendable]
- Adicionalmente, el Cap.1 de mi tesis puede servir como introducción a las preguntas más importantes que surgen en torno al nuevo fenómeno de la complejidad.

¹³ Keynes JM (1924) “Alfred Marshall, 1842-1924”, *Economic Journal* 34(135), pp.311-72

- Finalmente, el siguiente sitio web ofrece una compilación de bibliografía en complejidad y economía, detallada por áreas según la clasificación del *JEL*:
<http://community.middlebury.edu/~horlache/Complexity/Complexity/Bib1.html>

(*) En la Secretaría del Departamento de Economía se puede solicitar copia de parte del material mencionado arriba.

8. Bibliografía

- Arthur B (1994) “Complexity in economic theory”, *American Economic Review* **84**(2), pp.406-11
- Arthur B, Durlauf S, Lane D (1997) *The economy as an evolving complex system II*, Perseus Books, Reading
- Boumans M (1997) “Lucas and artificial worlds”, en: JB Davis (ed.), *New economics and its history*, Duke University Press, Durham London
- Buchanan M (2004) “It’s the economy, stupid” *New Scientist* **182**, 10 April, pp.34-37
- Bunge M (2001) *La ciencia. Su método y su filosofía*, Sudamericana, Buenos Aires
- Colander D (2000a) “New millennium economics: how did it get this way, and what way is it?” *Journal of Economic Perspectives* **14**(1), pp.121-132
- Colander D (2000b) *The complexity vision and the teaching of economics*, Edward Elgar, Cheltenham Northampton
- Colander D (2000c) *Complexity and the history of economic thought*, Routledge, London
- Edmonds B (1999) *Syntactic measures of complexity*, PhD Thesis, University of Manchester, UK
- Edmonds B (2001) “Against: a priori theory. For: descriptively adequate computational modelling”, *Post-Autistic Economics Review*, Issue N.10, December, article 2.
[\(http://www.btinternet.com/~pae_news/review/issue10.htm\)](http://www.btinternet.com/~pae_news/review/issue10.htm)
- Georgantzaz NC (2002) “Simulation modelling”, en: M Warner (ed.), *International Encyclopedia of Business and Management*, Thomson Learning, London
- Gilbert N, Troitzch KG (1999) *Simulation for the social scientist*, Open University Press, Buckingham Philadelphia
- Hodgson GM, Knudsen T (2001) “The complex evolution of a simple traffic convention: the functions and implications of habit”, *Workshop on Realism and Economics*, University of Cambridge, 29/01/01 (próximamente en el *Journal of Economic Behavior and Organization*)
- Horgan J (1995) “From complexity to perplexity” *Scientific American* **272**(6), pp.104-109
- Horgan J (1997) *The end of science*, Little, Brown and Co., London, Cap. 8
- Keen S (2001) *Debunking economics*, Pluto Press, Annandale, Australia
- Kirman AP (1992) “Whom or what does the representative individual represent?”, *Journal of Economic Perspectives* **6**(2), pp.117-36
- Krugman P (1994) “Complex landscapes in economic geography”, *American Economic Review* **84**(2), pp.412-16
- Lawson T (2003) *Reorienting economics*, Routledge, London New York

- Leijonhufvud A (1995) “Adaptive behavior, market processes and the computable approach”, *Revue Economique* **46**(6), pp. 1497-510
- Mirowski P (1997) “Machine dreams: economic agents as cyborgs”, en: JB Davis (ed.), *New economics and its history*, Duke University Press, Durham London
- Nicola PC (2000) *Mainstream mathematical economics in the 20th century*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York
- Ormerod P (1998) *Butterfly economics*, Faber and Faber, London
- Ormerod P (2002) “Social networks and information”, en: E Fullbrook (ed.), *Intersubjectivity in economics*, Routledge, London New York
- Perona (2004a) *Conceptualising complexity in economic analysis: a philosophical, including ontological, study*, PhD Thesis, University of Cambridge, UK
- Perona (2004b) “The confused state of complexity economics: an ontological explanation”, *Anales de la conferencia New2004-Complexity and Economic Policy*, Universidad de Salerno, Italia
- Prigogine I, Stengers I (1984) *Order out of chaos*, Heinemann, London
- Rosser JB (2004) *Complexity in economics*, Edward Elgar, Cheltenham Northampton
- Scheinkman JA, Woodford M (1994) “Self-organized criticality and economic fluctuations”, *American Economic Review* **84**(2), pp.417-21
- Simon H (1976) “How complex are complex systems?” *PSA: Proceedings of the biennial meeting of the Philosophy of Science Association*, Volume 1976, Issue Volume Two: Symposia and invited papers, The University of Chicago Press, p.507-522
- Weintraub R (2004) “Mirowski’s *Machine Dreams*: an appreciation” *Journal of Economic Behavior & Organization* **53**(3), pp.419-23
- Zhang ZG (2002) “Simulation”, en: M Warner (ed.), *International Encyclopedia of Business and Management*, Thomson Learning, London