

## IMPLICACIONES DEL CAOS DETERMINISTA EN LA ECONOMÍA Y LA GESTIÓN EMPRESARIAL

*Ruth Mateos de Cabo*  
Universidad San Pablo-CEU

*Elena Olmedo Fernández*  
Universidad de Sevilla

### INTRODUCCIÓN

En este trabajo se abordan sobre las implicaciones filosóficas y metodológicas de la teoría del caos y la sensibilidad a las condiciones iniciales sobre el concepto de complejidad, el paradigma científico, el análisis económico y el enfoque para su estudio y la gestión empresarial. La posibilidad de generar comportamientos aparentemente erráticos a partir de sistemas deterministas sencillos ha influido en el desarrollo del significado del vocablo complejidad, pasando de una complejidad cuantitativa tradicional a una complejidad cualitativa, en la que resaltan la importancia de la globalidad, las relaciones no lineales de retroalimentación positiva y las propiedades emergentes. Por último, también se traduciría en las nuevas técnicas a aplicar en la gestión empresarial en un entorno complejo, basadas en la importancia de los conceptos de comportamiento cualitativo, retroalimentación, desorden, globalidad, adaptabilidad, flexibilidad, inestabilidad, endogeneidad, creatividad, aprendizaje, integración y fractalidad.

### 1. COMPLEJIDAD Y CAOS

La ciencia del caos y de lo complejo supone uno de los grandes avances en la investigación científica del siglo XX y representa un cambio de enfoque radical en la concepción que existe sobre el poder de la ciencia.

El caos termina con la dicotomía que existía bajo el enfoque determinista tradicional entre determinismo y aleatoriedad<sup>1</sup>. Según este enfoque la incertidumbre proviene de la ignorancia de las diversas causas involucradas en la realización de un evento así como de la complejidad del mismo. Henri Poincaré, ya en sus estudios pioneros en este campo, se dio cuenta de que no son necesarios sistemas complejos para producir aleatoriedad, según él, esto es debido a lo que se conoce como “sensibilidad a las condiciones iniciales” que origina que un error pequeño en la medición de éstas se convierte en un gran efecto el fenómeno final, de manera que la predicción se convierte en imposible<sup>2</sup>.

Alrededor del cambio de siglo, los avances realizados en las ciencias naturales y las matemáticas sembraron serias dudas sobre la validez de la visión mecanicista. Así, mientras el desarrollo de la teoría de la relatividad o de la mecánica cuántica supusieron un desafío para la visión del mundo determinista, el descubrimiento de las propiedades matemáticas de diversos sistemas dinámicos supuso una amenaza para la teoría determinista en sí misma. Se demostró que podían surgir problemas a la hora de predecir la evolución de sistemas dinámicos que son completamente deterministas en el sentido de que en su definición no intervienen elementos estocásticos.

<sup>1</sup> Prigogine, I. (1997): *El fin de las certidumbres*; Taurus, pág. 217.

<sup>2</sup> Poincaré, H. (1952): *Science and Method*; Dover Publications, pág. 76.

Una consecuencia inmediata de los resultados obtenidos en el estudio de los sistemas dinámicos no lineales consiste en la necesidad de una revisión de la distinción popperiana entre determinismo científico y teorías deterministas<sup>3</sup>. Este concepto de teoría determinista está basado en las propiedades matemáticas de sistemas dinámicos básicamente lineales. Cuando aparecen en escena sistemas dinámicos no lineales que no poseen la propiedad de predecibilidad conocida a partir de los sistemas deterministas lineales, las teorías deterministas tienen que ser diferenciadas de acuerdo con su posible resultado. Dichas teorías pueden comportarse de la forma descrita en el esquema popperiano y puesto que su funcionamiento no difiere esencialmente de los sistemas lineales, pueden denominarse sistemas dinámicos cuasi-lineales. Sin embargo, no debe olvidarse que existen teorías deterministas que se comportan de una forma aleatoria, apareciendo así los conocidos como sistemas no lineales caóticos.

La teoría del caos, cuya principal aportación es, como se ha visto, que proporciona un medio para producir un origen determinista para un proceso estocástico, añadiendo a las variables aleatorias otra posible fuente de azar, presenta dos aspectos que han recibido un interés creciente en las últimas décadas:

- El comportamiento caótico puede ser extraño, pero no es raro, de ahí su aplicación a disciplinas tan diversas como la física, la química, la meteorología, la biología, la epidemiología y la medicina.
- El caos en una clase creciente de sistemas dinámicos puede ser descrito a través de un número relativamente pequeño de objetos matemáticos y se han descubierto ciertas propiedades universales que no parecen depender del sistema específico bajo estudio.

Por lo tanto, la teoría del caos, desde el comienzo tuvo un carácter interdisciplinario muy marcado, aunque su naturaleza universal se haya exagerado en ocasiones.

## **2. LINEALIDAD Y NO LINEALIDAD EN ECONOMÍA**

El descubrimiento de nuevos resultados fundamentales en dinámica no lineal y su rápida difusión ha proporcionado a la economía herramientas de análisis y el enfoque necesario para abordar con mayor rigor matemático algunos de los difíciles problemas relacionados con la inestabilidad y las fluctuaciones. Existe un consenso amplio entre los economistas acerca de la enorme dificultad presente a la hora de explicar los ciclos económicos, de hecho, a lo largo de los dos últimos siglos se han propuesto multitud de modelos que intentan describir este comportamiento.

La teoría del caos y la complejidad a través de un conocimiento profundo de conceptos tales como los atractores, la dinámica caótica, la dimensión fractal, los exponentes de Lyapunov, etc., así como de su aplicación a la investigación analítica y numérica de los modelos de dinámica económica y las series temporales, constituye un vínculo esencial en una cadena de progreso científico que va más allá del simple estudio de las fluctuaciones.

Las nuevas realidades exigen un nuevo enfoque metodológico en el que el mundo y la organización económica ya no sean considerados bajo el aspecto del orden y en el que desaparezca la fe ciega en la predecibilidad del sistema. Bajo esta nueva perspectiva el 'todo' es distinto que la mera suma de las partes de acuerdo con el principio holístico, y los pequeños errores se ven amplificadas con el cambio y las innovaciones en el tiempo

Para entender de forma clara lo que este nuevo enfoque supone, resulta interesante hacer hincapié en una serie de ideas interrelacionadas que son especialmente relevantes<sup>4</sup>:

---

<sup>3</sup> Popper, K.R. (1994): *El universo abierto*; Tecnos, pág. 59.

<sup>4</sup> Medio, A. (1992): *Chaotic Dynamics. Theory and Applications to Economics*; Cambridge, pp. 15-16.

- La no linealidad supone una condición necesaria pero no suficiente para la presencia de comportamiento complejo en un sistema dinámico determinista. El abandono de la linealidad supone que ya no funciona la localidad temporal y espacial,
- La inestabilidad del equilibrio no significa necesariamente la explosión del sistema sino la apertura a modos de comportamiento más interesantes y complejos que los equilibrios y ciclos estables que permiten los modelos lineales en economía,
- La complejidad de los sistemas no lineales exhibe ‘saltos’ cada vez que se incrementa su dimensión en una unidad. Incluso sistemas no lineales de baja dimensión pueden tener soluciones lo bastante complejas como para justificar la aplicación de los métodos estadísticos de la teoría del caos.

De todas estas consideraciones se deduce claramente la dicotomía linealidad frente a no linealidad. Este es un tema especialmente importante en la economía puesto que, salvo en la década de los cincuenta marcada por el uso de los modelos no lineales, durante la mayor parte de la historia del pensamiento económico, y debido a que su consolidación como ciencia coincide con la época en la que está en auge la visión del mundo determinista y el paradigma newtoniano en la física que era considerada como la ciencia exacta por excelencia, han predominado los modelos lineales. Esta visión del mundo económico supone que una economía puede describirse por medio de relaciones funcionales lineales o cuasi-lineales y que todos los efectos de las no linealidades son considerados como irregularidades con respecto del comportamiento cualitativo de un sistema lineal, analizándose sólo las que pueden ser aproximadas por sistemas lineales. No obstante, como señalan Barnett y Choi<sup>5</sup> los supuestos de linealidad frecuentes en los modelos económicos rara vez se han considerado como inherentes a la teoría económica sino como aproximaciones locales simplificadoras.

Aparece así la economía como repleta de fenómenos dinámicos que van desde catástrofes del mercado bursátil hasta las externalidades de red presentes en los mercados virtuales. Además, no parece irrazonable esperar mecanismos no lineales en el sistema económico. Un ejemplo de esta clase de dinámica provendría de un estudio de la psicología en el mercado, donde es conocido que la gente con frecuencia reacciona en exceso frente a las malas noticias<sup>6</sup>.

Day<sup>7</sup> por su parte, considera que la dinámica no lineal compleja resulta bastante apropiada para modelizar el comportamiento de la economía y enumera una serie de hechos que justifican en cierto modo esta pretensión:

1. Los precios de los bienes y las cantidades fluctúan con período y amplitud irregular.
2. Los indicadores agregados que representan la economía, exhiben también fluctuaciones irregulares.
3. El crecimiento económico no sigue una tendencia continua, sino más bien una con tasas de cambio fluctuantes.
4. La economía presenta ondas solapadas de consumo, tecnología y organización.
5. El desarrollo económico agregado es un fenómeno inestable y explosivo cuando se mide en una escala temporal bio-astronómica.

De todas estas afirmaciones se llega a una conclusión de vital importancia para la construcción de la ciencia económica y es que hay poca evidencia de que los datos económicos converjan a estados

<sup>5</sup> Barnett, W. A. y Choi, S.S. (1989): *A comparison between the conventional economic approach to structural inference and the nonparametric chaotic attractor approach*, pp. 141-212 en Barnett, W.A., Geweke, J. y Shell, K. (1989): *Economic complexity. Chaos, susnpots, bubbles, and nonlinearity*; Cambridge University Press, pág. 145.

<sup>6</sup> Savit, R. (1988): *When a Random is Not Random: An Introduction to Chaos in Market Prices*; The Journal of Future Markets, 8, 3, pp. 271-289 en Trippi, R.R. (ed.) (1995): *Chaos & Nonlinear Dynamics in the Financial Markets*; Irwin, pág. 40.

<sup>7</sup> Day, R.H.: *Complex Economic Dynamics: Obvious in History, Generic in Theory, Elusive in Data*; pp. 1-15, en Pesaran, M.H. y Potter, S.M. (eds.) (1993): *Nonlinear Dynamics, Chaos and Econometrics*; John Wiley & Sons; pág. 1.

estacionarios, a un crecimiento uniforme o a ciclos periódicos. De hecho, estos comportamientos parecen ser de carácter temporal y siempre son interrumpidos.

Se aborda así el estudio de la economía del no-equilibrio y de la no-linealidad, el análisis de la complejidad y los modelos de autoorganización, en los que el caos y la aleatoriedad evolucionan de forma espontánea hacia un orden insospechado. Además, con la teoría del caos la economía dispone de una doble alternativa para la modelización de las fluctuaciones económicas: bien a través de la dinámica endógena o de un “shock” exógeno.

### 3. COMPLEJIDAD Y ECONOMÍA

La complejidad, al igual que otros términos como son el caos, la autoorganización, el desorden, etc., constituye un concepto de gran relevancia en el nuevo enfoque epistemológico que se está desarrollando en estos tiempos.

Aparte de los tres tipos de complejidad considerados por Atlan: algorítmica, que consiste en la dificultad para una máquina programada de llevar a cabo una tarea; natural probabilística, que hace referencia a la incertidumbre probabilística sobre una estructura observada; y de apreciación, que se refiere a la intuición, no cuantificada, sobre nuestra dificultad de comprender una idea. Hay que añadir un segundo tipo de complejidad que suele utilizarse en Economía para referirse a los casos en que el comportamiento a largo plazo de la dinámica es más complicado que un punto fijo, un ciclo límite, o un toro; o lo que es lo mismo cuando se produce un comportamiento caótico.

Fernández Díaz<sup>8</sup> indica que los sistemas complejos presentan con frecuencia propiedades de autoorganización de una manera espontánea en el sentido de que tienden a evolucionar hacia comportamientos ordenados, y de que responden a pautas constantes y sencillas. Además, la complejidad de las redes encierra rizos de alimentación no lineal positivos que conducen al sistema hacia zonas de inestabilidad limitada que exhiben un alto grado de flexibilidad y creatividad.

La investigación en las ciencias de la complejidad, tal y como indica Gell-Mann<sup>9</sup>, no sólo intenta desentrañar el significado de lo simple y lo complejo, sino también las semejanzas y diferencias entre los sistemas complejos adaptativos (es decir, dinámicos) que están implicados en procesos tan diversos como la evolución de las sociedades humanas o el comportamiento de los inversores en los mercados financieros.

Los sistemas económicos pueden considerarse sistemas complejos adaptativos. Así, por ejemplo los inversionistas pueden hacer uso de diferentes esquemas elementales basados en la historia de los precios de las acciones generándose fluctuaciones en los precios. Estas fluctuaciones surgen de un modelo evolutivo que trata con agentes que distan de la perfección pero que intentan mantenerse informados. Esta versión de los sistemas económicos está en estrecha relación con el concepto de los sistemas dinámicos evolutivos de Prigogine y la relación causa-efecto<sup>10</sup>.

Para Prigogine<sup>11</sup> la realidad tiene un carácter puramente evolutivo e irreversible, esta descripción evolutiva de la realidad está asociada con la entropía. No obstante, la irreversibilidad ya no se asocia sólo a un aumento del desorden, por el contrario, los desarrollos más recientes de la dinámica del no-equilibrio muestran que aquella puede conducir a la vez al desorden y al orden.

---

<sup>8</sup> Fernández Díaz, A. (2000): *Dinámica caótica y política económica*; Información Comercial Española, pág. 52.

<sup>9</sup> Gell-Mann, M. (1994): *El quark y el jaguar*; Tusquets Editores, pág. 35.

<sup>10</sup> Dos ejemplos (tanto macro como micro) de sistemas dinámicos complejos, y sus relaciones causa-efecto en un entorno de no equilibrio se pueden encontrar en Nieto de Alba, U. (1996): *La gestión del caos en la economía*, Análisis Financiero, 68, pp. 98-111.

<sup>11</sup> Prigogine, I. (1997), op. cit.

Así pues, son los procesos irreversibles alejados del equilibrio los causantes de que la naturaleza realice sus estructuras más delicadas y complejas existiendo una fuerte relación entre la complejidad y la flecha del tiempo. Para Prigogine resulta necesaria la nueva formulación de la dinámica que presenta la teoría del caos para describir el mundo como una realidad de fluctuaciones, bifurcaciones, asimetrías e inestabilidades en todos los niveles. Los sistemas estables conducentes a certidumbres corresponden a idealizaciones.

Esta nueva visión, señala que en la economía al ir emergiendo nuevos valores y realidades, se han producido rupturas de simetría que obligan a crear formas de organización distintas para los nuevos niveles de complejidad de los que emanan nuevas propiedades para los que serán necesarios nuevos planteamientos.

#### **4. LA GESTIÓN COMPLEJA**

La evolución del pensamiento científico y de la propia gestión pone de manifiesto la necesidad de un nuevo enfoque que nos lleve a pensar en términos de no linealidad. Este nuevo tipo de gestión se sitúa en la zona de indecisión y presenta un alto grado de flexibilidad y capacidad de aprendizaje que le permite crear futuro a partir de fuerza innovadora más que anticiparlo. Se centra en ocuparse más de establecer nuevos modelos organizativos para fundamentar los esquemas de decisión que de perder el tiempo y los recursos en analizar el entorno<sup>12</sup>. Los modelos de gestión tecnócratas han de dejar, por lo tanto, paso a una gestión y control estratégicos en los que se asuman los valores de la nueva economía de la complejidad.

Las características esenciales de esta gestión compleja tan importante en entornos inestables y continuamente innovadores son:

- 1) En los entornos de innovación es condición necesaria la asimilación de las nuevas tecnologías y la inversión en intangibles, sobre todo en aquellos relacionados con la experiencia y la capacidad profesional. Esto supone una creación permanente de información y de significados que permite crear neguentropía para contrarrestar la entropía que se produce en todo sistema abierto.
- 2) La gestión estratégica basada en los principios del protocolo de la complejidad:
  - Todas las variables son endógenas y también lo es el propio marco institucional.
  - El 'todo' es mayor que la suma de las partes. Este principio holístico supone que cada elemento depende del 'todo' y éste lo hace de cada elemento.
  - Los valores compartidos que emanan del propio sistema se elevan a normas y reglas de juego
  - Los procesos son evolutivos y el paso de un orden (local) a otro más complejo (global) da lugar a una cierta inestabilidad propia de los procesos autoorganizativos y de evolución creativa.
  - Puesto que la evolución no es predecible, es necesario contemplar un proceso político y el aprendizaje en grupo para anticipar, asumir y gestionar la inestabilidad.

El éxito en este tipo de gestión depende de la habilidad para conjugar la gestión ordinaria o tecnocrática de la actividad cotidiana, con la gestión extraordinaria del cambio estructural de la organización.

- 3) El gestor creativo ha de asumir la incertidumbre y el riesgo en lugar de intentar dominarlos, asimismo debe apoyar y facilitar la existencia de fuerzas opuestas y de opiniones divergentes permitiendo así que la organización se renueve y se abra a la nueva información.

---

<sup>12</sup> Nieto de Alba, U. (2000): *Gestión y Control en la Nueva Economía. Innovación, Integración y Globalización*; Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, cap. IV.

- 4) No existe una clara diferencia entre gestión y control. El trabajo en equipo se fundamenta en los valores de la lealtad y el compromiso garantizando el control del comportamiento global del sistema. El control interno se basa el principio de especificaciones mínimas críticas que permite el desarrollo de grupos autogestionados.
- 5) Se desarrolla en un entorno social que para el reconocimiento de los beneficios de la innovación exige, además, que se asuman los valores éticos de la transparencia y del buen gobierno.

En conclusión, la teoría del caos y de la complejidad proporciona una metodología adecuada para gestionar una inestabilidad en la que los desequilibrios suponen procesos de autoorganización que conducen a un nuevo orden más complejo. La gestión compleja supone el mantenimiento de opciones abiertas, enfatizando la generación de información y la adaptabilidad, todo ello en un contexto descentralizado y de organización fractal.

## 5. ORIENTACIONES ESTRATÉGICAS PARA UN ENTORNO COMPLEJO

A lo largo del presente trabajo se ha podido observar como la perspectiva de los sistemas dinámicos complejos proporciona nuevas orientaciones para el pensamiento estratégico en una empresa, orientaciones que podemos resumir en torno a los siguientes puntos<sup>13</sup>:

- El pensamiento estratégico ha de desarrollar *nuevos modelos, técnicas y prescripciones* para cada situación, basados en gran parte en la experiencia y las semejanzas cualitativas con situaciones ya conocidas. Los futuros inciertos exigen cuestionar y modificar los modelos mentales tradicionales.
- Bajo en enfoque de la complejidad *el pensamiento tiene que avanzar en términos de sistemas completos* donde los cambios se acumulan lentamente a partir de las interconexiones entre las partes que los componen y dónde resulta más fructífero entender la naturaleza cualitativa de las interconexiones.
- Para que el pensamiento estratégico resulte eficaz es necesario que se realice a través de un *proceso de aprendizaje complejo* donde se *cuestionen las hipótesis y se modifiquen las mentalidades*. Además, a través de este proceso las personas deben descubrir y elegir nuevas perspectivas y nuevas ideas.
- En la empresa como sistema de realimentación no lineal que funciona en un estado de inestabilidad limitada, se debe seguir una *actuación estratégica basada en modelos cualitativos generales sobre la forma y la posición de la empresa*, de manera que los directivos sean capaces de identificarlos y comprenderlos cuando los vean, dado que el futuro a largo plazo de la compañía resulta imprevisible en términos estadísticos.
- En cuanto al tipo de control estratégico aplicable ante situaciones de cambio abierto que derivan de la dinámica caótica, hay que destacar que el *control estratégico* debe entenderse como un control *en sentido general*, es decir, sobre las condiciones limitantes en torno a la inestabilidad.
- La perspectiva de los sistemas dinámicos reconoce la importancia de un funcionamiento simultáneo de formas rígidas de control organizativo para manejar lo que se conoce con formas autoestructuradoras de control para manejar lo relacionado con el largo plazo. Se trata de un *control basado en el funcionamiento del sistema político de la organización* en el que los directivos antes de embarcarse en una nueva dirección deberán obtener los apoyos necesarios para legitimar sus propuestas.
- Las guías para el diseño organizativo bajo el nuevo paradigma han basarse en los siguientes aspectos<sup>14</sup>:

---

<sup>13</sup> Stacey, R.D. (1994): *Gestión del caos*; Ediciones S.

<sup>14</sup> Navarro Cid, J. (2000): *Gestión de Organizaciones: Gestión del Caos*; Dirección y Organización, 23, pp. 136-145.

- La organización fractal, informal o amorfa debe evitar el autoritarismo y los grupos formales.
- Se ha de estimular la polivalencia o policompetencia del trabajador.
- La variedad interna mínima de funciones debe venir determinada, por defecto, por el entorno.
- Las especificaciones críticas mínimas están basadas en una misión y un conjunto de valores nucleares.
- Presencia de grupos autogestionados con alguna competencia para fijarse metas.
- Añadir complejidad e incertidumbre para facilitar la autoorganización espontánea de la organización.
- Crear neguentropía, es decir, información y significados para alimentar a los grupos autogestionados.
- Facilitar y apoyar la existencia de fuerzas opuestas con lo que se busca la generación de contraculturas.
- Dirección por valores que permite dejar la operativa de objetivos e instrucciones.

## 6. CONCLUSIONES

A través de la dinámica caótica se pone de manifiesto como sistemas con pocos grados de libertad pueden ofrecer un comportamiento aleatorio, esto cambia el significado de la complejidad que pasa a ser una categoría cualitativa y además termina con la disyuntiva que existía entre determinismo y aleatoriedad.

Bajo este nuevo enfoque la dinámica económica intenta identificar mecanismos internos para explicar de forma endógena las variaciones observadas en las variables económicas, disponiendo así la economía de una doble alternativa para modelizar las fluctuaciones económicas: los "shocks" exógenos y los modelos deterministas caóticos.

La ciencia de la administración no ha sido ajena a esta evolución en el pensamiento científico. Surge así la gestión compleja que presenta un alto grado de flexibilidad y capacidad de aprendizaje y en el que es la empresa la que crea su propio futuro a partir de fuerza innovadora. Este tipo de gestión se centra más en ocuparse de establecer nuevos modelos organizativos que de perder tiempo y recursos para analizar el entorno.

Bajo esta nueva perspectiva se proporcionan nuevas orientaciones para el pensamiento estratégico en la empresa, orientaciones que se articulan en torno al aprendizaje complejo en grupo, al control estratégico basado en el funcionamiento político de la organización y al diseño fractal de la organización.