

# Teoría de la Complejidad

## Guillermo Márquez

Mi amigo y colega Antonio Paiva publicó en su prestigioso boletín “Opiniones” una entrevista a uno de los economistas más importantes del siglo XX y parte del XXI, Kenneth Arrow, premio Nobel de Economía, fallecido en febrero pasado. Relacionado con uno de los temas tratados en la entrevista, Antonio hizo un llamado a sus lectores a reflexionar sobre la teoría de la complejidad. En atención a ese llamado, he revisado y ampliado este escrito del 2010.

El concepto de caos –desorden- en la ciencia se refiere a fenómenos que tienen características muy distintas al estatus científico tradicional y especialmente la relación entre las variables. Si un determinado comportamiento está expresado por la relación  $y = a+bx$ , conociendo la constante “a” el coeficiente “b” y la variable independiente “x”, conoceremos el valor de la variable dependiente “y”. Lo importante para este examen es que esas relaciones entre las dos variables, a través del coeficiente, se mantienen cualesquiera que sean los valores que le damos a “x”. Esta es una relación determinística, podemos predecir sin problemas lo que buscamos, el valor de “y”. Tomemos ahora la ecuación logística,  $y = k(1-x)x$ . Partiendo de una “k” determinada, le damos valores distintos a x por el método iterativo, y agrupando por grupos de valores, graficamos la forma de la ecuación. En cada caso el gráfico es distinto y cada vez lo es más, hasta que en los últimos la forma de la ecuación se hace irreconocible respecto a las primeras. Quiere decir que la estructura de las relaciones ha ido cambiando a medida que le hemos ido dando valores distintos a la variable independiente. Esa es una estructura caótica: pequeños cambios iniciales producen cambios desproporcionados. Ya no podemos predecir con facilidad el valor de la variable dependiente; si bien es teóricamente posible, la cantidad de información que habría que conocer para ello, lo hace en la práctica imposible.

La manifestación del caos que se conoce popularmente es el llamado “efecto mariposa”. El aleteo de una mariposa en la selva amazónica puede causar un tornado en las antípodas. El origen de esta denominación se debe que Edward Lorenz, quien fue pionero de los estudios sobre el caos, por sus investigaciones sobre el clima a partir de los años 50, tituló uno de sus trabajos “*Predictability: Does the Flap of a Butterfly's Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?*”, porque el gráfico que representaba las ecuaciones resultantes de sus investigaciones, aparecía como las dos alas de una mariposa. Lorenz observó que más allá de poder predecir el clima con sólo algunos días de anticipación, la predicción de mediano plazo se hacía imposible. La conclusión: las variables que se iban insertando en el fenómeno, introducían tales cambios que la predicción era imposible: era el caos. Como muchas veces sucede, los hallazgos de Lorenz pasaron por debajo de la mesa, hasta que fueron descubiertos posteriormente, lo que le dio celebridad instantánea. El caos fue descubierto por el matemático francés Henry Poincaré a principios del siglo XX, pero las herramientas de la matemática clásica no eran apropiadas por sus características, por lo cual las investigaciones no avanzaron. Sólo con el comienzo del

desarrollo del álgebra no lineal en la segunda mitad del siglo XX, ha sido posible avanzar en las investigaciones relacionadas, que ya abarcan todas las ramas del saber. Es conveniente explicar el concepto de “no lineal” en este contexto. No se trata de que todas las relaciones distintas, todas las ecuaciones que no sean expresadas por una línea recta son no lineales para la teoría del caos. Las curvas derivadas de la matemática tradicional no son no lineales para la teoría del caos, porque aquí las relaciones entre las variables están perfectamente identificadas; el concepto de no lineal se refiere a la no linealidad de las relaciones entre las variables a través del proceso.

Dos conceptos muy importantes en la teoría del caos son la retroalimentación positiva y negativa, (Pablo Cazau, Teoría del Caos, 2002). La primera corresponde a lo ya explicado, amplificación de los cambios. En tanto que, en la retroalimentación negativa se volvería de una situación de caos a una de orden, de estabilidad. Cazau da un ejemplo, que además es muy bueno para entender los conceptos. Un hombre va caminando por el desierto y constantemente tiene que hacer cambios en su ruta para llegar al objetivo final. Esa corrección constituye una retroalimentación negativa, en el sentido de que procura llegar al objetivo, vencer el caos. Pero en un momento, comete una pequeñísima equivocación respecto al cambio que debe hacer. Ese pequeño error, de no ser rectificado, va ampliando cada vez más la distancia entre su objetivo y el lugar a donde llegaría efectivamente.

Con relación a la aplicación de la teoría del caos a la teoría económica, Eric Beinhocker (The Origin of Wealth, Evolution, Complexity and the Radical Remaking of Economics, 2006), se pregunta si la economía es un fenómeno caótico. Su respuesta: “probablemente no”. Indica que los sistemas caóticos tienden a tener pocas variables y pocos grados de libertad (1) y que la economía tiene un asombroso número de grados de libertad; “es más apropiado llamar a la economía **compleja**”, de ahí la denominación de Teoría de la Complejidad: “*Es probablemente justo decir que algunas veces la economía puede mostrar comportamiento caótico, pero que la economía también muestra crecimiento, decadencia, ciclos periódicos y quasi periódicos y otro conjunto enorme de comportamientos.*” La posición central de la teoría de la complejidad es su rechazo a los postulados de la teoría económica tradicional, particularmente la hipótesis de la tendencia al equilibrio, sobre lo cual hace un importante aporte teórico y empírico. La economía sería para Beinhocker un sistema complejo adaptable, importante concepto en la teoría de la complejidad, que se refiere a “*partes o partículas que tienen la habilidad de procesar información y adaptar su comportamiento como agentes que interactúan*”. (Beinhocker). Entre los ejemplos que se citan están las células del sistema inmune del cuerpo y los usuarios de internet. De acuerdo a las investigaciones realizadas, los teóricos de la complejidad consideran que el sistema económico es un sistema complejo adaptable en tanto que cumple con las funciones que le dan ese carácter, “*...grupos de personas que interactúan entre sí, procesan información y adaptan su comportamiento*” en consecuencia de esos procesos. (Beinhocker).

Esta interacción es la fuente de otra crítica a la teoría tradicional, por parte de Paul Ormerod (Butterfly Economics, 1998). Según la teoría ortodoxa del consumo, sus gustos y preferencias están dados y su objetivo es maximizar su “utilidad” respecto a esos patrones. Pero numerosos estudios empíricos indican que esa interacción existe y es importante; por lo tanto, el

comportamiento del consumidor se aleja considerablemente de lo que indica la teoría tradicional y le da el carácter caótico, a diferencia del comportamiento estático supuesto por el enfoque ortodoxo. Ormerod lo ilustra con un ejemplo: “...En la industria cinematográfica o en la de juguetes para navidad, los consumidores no conocen por adelantado si les gustará o no. La gente tiene que aprender cuáles son sus preferencias y la escogencia de cada individuo es influenciada por las opiniones y acciones de otros. Los juguetes y las películas populares se hacen más populares precisamente porque ellos son populares. De allí las enormes diferencias en ingresos entre las películas más exitosas y las menos exitosas y los espectaculares saltos en la demanda de un solo producto que ocurre casi todos los años en navidad”.

Una importante aplicación de la teoría de la complejidad es la realización de pronósticos económicos, que en su mayoría fallan; una de las razones es que esas estimaciones utilizan como su base inicial series de datos de varios años anteriores. Al producirse cambios en las tendencias observadas, los resultados pronosticados se alejan de los resultados reales. Pero aún más importante es que los pronósticos suponen que las relaciones entre las variables no cambian. cuando esto ocurre, de acuerdo a la complejidad de la economía, los pronósticos difieren en distinto grado de la realidad. Ormerod, utilizando las herramientas de la matemática no lineal, obtuvo estimaciones muy cercanas a los resultados fácticos, pero las herramientas disponibles no permiten pronósticos de largo plazo.

Para entender a grandes rasgos las diferencias entre la teoría de la complejidad y la teoría económica tradicional es útil la síntesis que hace Beinhocker.

## **Teoría Económica de la Complejidad**

### **Dinámica**

Abierta, dinámica, sistemas no lineales, lejos del equilibrio

### **Agentes**

Modelados individualmente, reglas derivadas de la práctica para tomar decisiones; existencia de información incompleta; las redes de relaciones cambian con el tiempo

### **Emergencia**

No hay distinción entre micro y macroeconomía; patrones macro son resultado de comportamientos e interacciones a nivel micro

### **Evolución**

El proceso evolucionario de diferenciación, selección y amplificación provee al sistema con novedades y es responsable por el crecimiento en orden y en forma compleja.

## **Teoría Económica Tradicional**

### **Dinámica**

Cerrada, estática, sistemas en equilibrio

### **Agentes**

Modelado colectivamente, usa complejos cálculos deductivos para tomar decisiones; existencia de información completa; no hay errores y ni parcialidades; no hay necesidad de aprender de adaptaciones (ellas ya son perfectas)

### **Redes**

Supone que los agentes sólo interactúan indirectamente, a través de mecanismos de mercado (ejemplo, subastas)

### **Emergencia**

Micro y Macroeconomía permanecen como disciplinas separadas

### **Evolución**

No hay mecanismo para crear novedades endógenas o crecimiento en orden y en complejidad

Con relación a la aplicación de la teoría de la complejidad al campo de las finanzas nos basaremos en la obra de Benoit Mandelbrot.

**Benoit Mandelbrot (M)** es uno de los más notables científicos del siglo XX y aún del siglo XXI. De profesión original matemático, ha hecho importantes contribuciones en el campo de la teoría de la información, de la teoría económica, de la dinámica de los fluidos, de la cosmología, de la teoría del caos, entre otros. Su contribución más importante es la construcción de la **matemática fractal, la geometría fractal**, (2) de múltiples aplicaciones. Una de ellas es en el campo de las finanzas, donde sus investigaciones lo llevaron a una posición opuesta a la teoría prevaleciente. Poco conocido, su prestigio, como en el caso de Minsky y de otros, se ha elevado grandemente con la crisis, porque sus concepciones se han visto confirmadas. Su libro que usamos como bibliografía, “The (Mis)Behaviour of Markets” fue publicado originalmente en 2004 y luego puesto al día en 2008 con motivo de la crisis. En ese libro condensa toda su obra teórica sobre los mercados, especialmente los financieros y expone los fundamentos de la matemática fractal. En nuestro comentario abordaremos varias de sus **críticas específicas a la teoría financiera** y luego examinaremos su **teoría de la geometría fractal y sus aplicaciones a los mercados financieros. Mandelbrot murió a fines de octubre del 2010, dejando un importante e imperecedero legado en muchos campos del saber, entre ellos el de las finanzas.**

En lo que se refiere a la hipótesis de los mercados eficientes, **M** sostiene, por una parte, que los cambios de precios no son independientes unos de otros y señala un conjunto de investigaciones

que van en este sentido, de series de precios que muestran lo que él llama “memoria”, el hoy influencia el mañana. Por otra parte, numerosos resultados contradicen la distribución de los cambios en los precios a través de una curva normal. Los saltos bruscos serían lo normal. Cita varias instancias de la evolución del Dow Jones. La caída del Dow Jones el 19 de octubre de 1987 de 29.2% tenía, según la teoría, una probabilidad de que ocurriera de menos de uno en  $10^{50}$  oportunidades! El colapso de ese índice el 31 de agosto de 1998 tenía, según los modelos, una probabilidad de ocurrencia de 1 en 100.000 años y de tres en un mes de 500.000 millones de años! Finalmente, observamos que la distribución de la serie del Dow Jones en el período 1916-enero 2002 no corresponde en lo absoluto a una curva normal. A propósito, Michael Lewis, (*Panic! The story of modern financial insanity*, 2009), un famoso analista financiero, cuenta que un colega llamó a S&P para preguntar qué pasaría con la tasa de incumplimiento de los pagos de hipotecas si los precios de los inmuebles cayeran en un determinado porcentaje: la respuesta fue que su modelo no aceptaba números negativos, estaba construido sobre la hipótesis de que los precios estarían aumentando permanentemente. Sus investigaciones y la aplicación al área de las finanzas de su descubrimiento, la geometría fractal, lo conducen a una concepción, cuyos principales elementos son los siguientes:

**1.- Los mercados (3) son riesgosos**, cambios extremos en los precios son la norma. Por lo tanto, esos cambios no se distribuyen en forma de una curva normal. **2.- Los mercados son turbulentos** y esas turbulencias tienden a concentrarse. En ese sentido, encuentra que los precios no se deslizan, no son un proceso continuo y progresivo como postula la teoría, sino que saltan. Cuando se pregunta por qué los mercados son turbulentos, dice que él es un científico y no un filósofo (afirmación que me parece extraña en relación a quienes deben ocuparse de los por qué); él sólo puede avanzar algunos factores, entre los cuales estaría el mundo exterior, es decir, los factores exógenos. **3.- Los Mercados tienen personalidad.** Es la misma idea de Minsky acerca de los factores endógenos que producen los cambios de precios, aunque, como acabamos de decir, **M** reconoce la influencia de los factores externos. Las verificaciones empíricas indican en forma abrumadora que las fluctuaciones de precios no son independientes, hay una correlación entre los precios presentes y los pasados y, nuevamente, el supuesto de la curva normal no tiene sentido. Los pronósticos de precios son arriesgados, pero se puede estimar las probabilidades de la volatilidad futura. Estos pronósticos se asemejan a los pronósticos del tiempo: se puede estimar la intensidad y la trayectoria de un huracán, pero no se puede predecir con exactitud en qué lugar entrará en tierra y el daño que causará. Indica que la aplicación de esta metodología al campo de las finanzas apenas ha comenzado.

Como ilustración de estos intentos, señala la construcción por dos académicos franceses de un “Index of Market Shocks”. Ese índice fue aplicado a una situación que se produjo en octubre de 1998, cuando el tipo de cambio del dólar con el yen se modificó 15% en una semana. Y se

encontró que ese índice había saltado de estar por debajo de 3 a estar por encima de 10, indicativo de una situación muy inestable. Su posición en este respecto la resume Mandelbrot con la afirmación **de que no se puede** derrotar al mercado, tal como lo dice la doctrina establecida, pero se pueden evitar sus peores golpes. **4.- Los mercados engañan**, en el sentido de que algunos comportamientos conducen a la creencia de que ellos siguen ciertos patrones que en realidad no existen. **5.-** Como un corolario de todo lo anterior: **Los mercados son intrínsecamente inciertos y las burbujas son inevitables.** **6.- El tiempo de los mercados es relativo.** Esto no me quedó claro. El dice que los mercados tienen un tiempo propio, distinto al tiempo del reloj. El tiempo se aceleraría en períodos de alta volatilidad y se reduciría en tiempos de estabilidad, fenómeno que afirma puede expresarse en ecuaciones.

Las investigaciones de **M** sobre la geometría fractal, que ha desarrollado durante más de cuarenta años, comenzaron con la observación de los fenómenos que se producen en un túnel del viento en un avión, las cuales se extendieron a otros fenómenos naturales y también económicos, especialmente el financiero, encontrando en ellos las mismas características de turbulencia, en lugar de la evolución continua y sin salto. En este sentido, dice que considera que su mayor contribución es mostrar que la turbulencia y la naturaleza áspera están presentes en todos los fenómenos de la naturaleza y de la sociedad y no son una simple imperfección respecto a un mundo ideal. El investigador explica cómo construir las figuras fractales, sobre las cuales por cierto salen figuras bellísimas, pero ello sería difícil explicar aquí y, además, no es necesario para el objetivo de este escrito. Esas figuras tienen su representación matemática que **M** dice que son de tal complejidad, que a veces las mejores mentes matemáticas del mundo no pueden resolverlas. Esa estructura analítica se ha extendido a numerosos usos: la compresión de imágenes digitales en internet, la medición de fracturas en los metales, el análisis de las ondas del cerebro en la máquina EEG, (encefalograma electrónico), en la construcción de antenas de radio extremadamente pequeñas, en la producción de cables ópticos, en el estudio de la anatomía de los bronquios, en los fluidos dinámicos, en la hidrología, en la meteorología, en la animación por computación para diseñar paisajes artificiales, y por supuesto en el análisis de los mercados financieros, que confluyen en los postulados que ya hemos mencionado.

Ilya Prigogine, Físico-químico ruso nacionalizado belga, es hasta ahora el científico más notable sobre la teoría del caos. Le fue concedido el nobel de química en 1977, por sus investigaciones sobre la termodinámica en desequilibrio y la teoría de las estructuras disipativas, (3) temas estrechamente relacionados con el caos. Murió el 2003.

La teoría de la complejidad ha hecho grandes avances y está en pleno desarrollo bajo el liderazgo del Instituto Santa Fe desde 1987. Es una entidad académica dedicada a la investigación sobre el caos y la complejidad, lo que ha representado una contribución decisiva al

avance de esa disciplina. Para conocer mejor la labor de ese Instituto, incluiremos la presentación que se hace en su página web.

Se define el concepto de complejidad:

*“ La complejidad se desarrolla en cualquier sistema donde muchos agentes interactúan y se adaptan entre sí y sus ambientes. Estas interacciones y adaptaciones resultan evolucionarios y frecuentemente con comportamientos “emergentes” a nivel macro. La ciencia de la complejidad intenta encontrar mecanismos de comportamiento común que dirigen la complejidad en distintos sistemas físicos, biológicos, sociales.” y tecnológicos.*

En base a esa conceptualización, se explica su labor en ese campo:

*“Nuestros investigadores se esfuerzan en comprender y unificar los patrones compartidos en mundos complejos en los aspectos físicos, biológicos, sociales, culturales, tecnológicos y astrobiológicos. Nuestra red global de investigadores atraviesa fronteras, departamentos, disciplinas, unificando mentes curiosas profundas en el razonamiento lógico, matemático y computacional.. En tanto que revelamos los mecanismos y procesos desconocidos que configuran estos mundos en evolución, buscamos usar este conocimiento para promover el bienestar de la humanidad y la vida en la tierra”.*

Al terminar esta breve explicación de la teoría de la complejidad, expreso mi opinión de que su desarrollo es un factor positivo para todas las ciencias que, en el caso particular de la teoría económica, permite una interpretación más realista de los fenómenos económicos, lo que deriva en la posibilidad de mejores políticas económicas. Los teóricos económicos de la complejidad no rechazan totalmente la teoría tradicional. Como dice Ormerod *“La teoría ortodoxa no es una caja vacía, y mis argumentos no significan un rechazo sino una extensión, una generalización que toma en cuenta, a diferencia de la teoría convencional, el factor fundamental de que la gente es influenciada por el comportamiento de los otros”* En un aspecto particular coincido con los teóricos de la complejidad, a saber, la posición frente al rol del estado y del mercado, la cual expuse en el 6º avance de mis escritos sobre la crisis mundial, lo cual transcribo aquí:

***Mi posición general frente al mercado vs intervención estatal puede ser ilustrada cuando reemplacé en los años 90 en una clase a una colega en el postgrado de la UCV y allí promoví una discusión sobre ese tema. Después de escuchar a todos los estudiantes, tracé una línea horizontal en el pizarrón. Al extremo izquierdo escribí: intervencionismo extremo. A la extrema derecha escribí: libre mercado extremo. Después dije más o menos lo siguiente: “Los dos extremos no funcionan, no se pueden aplicar. Diversas razones y experiencias así lo comprueban. La política correcta está en un lugar entre los dos extremos, y no necesariamente en la mitad de la línea. En la práctica es imposible determinar cuál es la combinación óptima, siempre habrá errores por exceso o por omisión de intervención gubernamental. Tampoco se puede generalizar; diversas circunstancias determinarán diversas combinaciones que se acercarán a una combinación óptima. En términos generales la combinación que respaldo***

***está en un lugar a la derecha de la mitad de la línea”. Después he visto esta idea expresada muchas veces, que la verdad siempre está en un punto intermedio entre dos extremos.***

Pero la opinión que más me atrajo fue la que aparece en el libro “Game Theory and the Social Contract” de Ken Binmore, por expresar en forma magistral mi posición, al punto que me parece el mejor párrafo que he encontrado en mis lecturas económicas:

***“Cómo puede uno encontrar alguna posición intermedia entre aquellos que fijan su atención en el problema incorrecto y, por otra parte, aquellos que no ven problema alguno...Para la señora Thatcher no existe eso que denominan la sociedad. Existe sólo una colección atomizada de individuos...el propio interés...pero ninguno reconociendo propósito común o responsabilidad alguna...Esta cuestión personifica el error, tanto de la izquierda como de la derecha. Ambos están equivocados en lo fundamental porque sus concepciones implícitas del hombre y la sociedad no son realistas acerca de la naturaleza humana...La izquierda comparte la visión de Hobbes de la sociedad, como algo más que una colección de individuos o amas de casa...Sin embargo, a diferencia de Hobbes, los izquierdistas ven a Leviatán como algo movido por el bien común, hacia la cual las luchas y aspiraciones de sus componentes humanos están apropiadamente subordinadas. La verdad acerca de la sociedad es mucho más compleja de lo que los izquierdistas y derechistas están dispuestos a aceptar...El Leviatán es más que la suma de sus partes, precisamente como resultado del común convencimiento de que existe el cerebro de los ciudadanos y no por otra razón...Pero una comunidad que parte del supuesto de que sus componentes pueden aliarse para actuar sin egoísmo la mayor parte del tiempo, simplemente no resultará, pero igualmente una sociedad que descansa sólo en las instituciones del mercado es una sociedad que dejará irrealizado mucho de su potencial. Las utopías están típicamente fundadas en concepciones erradas acerca de la naturaleza humana y, en consecuencia, condenadas a fallar. Lo único que se puede lograr actuando así es distraer la atención de los avances que se pueden lograr.”***

Aunque Beinhocker hace una extensa exposición de su posición al respecto, la resume en una frase sencilla explica con claridad su posición; la combino con la última frase de la explicación del Instituto Santa Fe sobre el significado de complejidad:

***“El problema no es estado versus mercado, es como combinar estado y mercado para crear un sistema evolucionario efectivo...para promover el bienestar de la humanidad y la vida en la tierra”.***

(1). Concepto estadístico que indica el número de variables en una ecuación que pueden variar libremente, es decir, el número de variables independientes.



(2) El término fractal indica formas irregulares, ásperas, diferentes a la geometría euclidiana, con sus formas regulares. Lo tomó Mandelbrot del latín “fractus” que significa piedra rota e irregular.

(3). En la terminología de las finanzas “mercados” indica mercados financieros

(4). La explicación más asequible de este término la encontré en el Diccionario de Ciencia y Religión:

*“Son sistemas termodinámicos no equilibrados que generan orden espontáneamente (self-organizing systems) al intercambiar energía con los ambientes externos. Entre las estructuras disipativas se incluyen procesos físicos (ej, torbellinos), reacciones químicas (ej, células de convección de Benard), y sistemas biológicos (ej, células). El físico y químico Ilya Prigogine... encontró que cuando estas estructuras están muy desequilibradas, pueden transformar irregularidades de pequeña escala en irregularidades de gran escala”.*

(4). En la terminología de las finanzas “mercados” indica mercados financieros