

# CÓMO EL PROCESO CAÓTICO ECONÓMICO AFECTA A LAS FINANZAS

**Gustavo Tapia**

*Universidad de Buenos Aires*

*SUMARIO: 1. Introducción a las teorías caóticas; 2. Afectación de los mercados económicos; 3. Impacto en la gestión financiera; 4. Conclusiones sintetizadas de los puntos anteriores.*

Para comentarios: [gustavotapia1@speedy.com.ar](mailto:gustavotapia1@speedy.com.ar)

*“Es bien sabido que el corazón tiene que ser regular, de lo contrario morimos. Pero el cerebro tiene que ser irregular; de lo contrario tenemos epilepsia. Esto muestra que la irregularidad, el caos, conduce a sistemas complejos. No se trata de desorden. Por el contrario, yo diría que el caos posibilita la vida y la inteligencia” Ilya Prigogine.*

## 1. Introducción a las teorías caóticas

De Galileo y Copérnico se inició un período glorioso pero con una visión simple del mundo, enfatizando los factores de equilibrio, orden, estabilidad. Desde Newton, Schrodinger y Einstein, la ciencia se ha basado en leyes deterministas en las que el pasado y el futuro juegan papeles simétricos. En el determinismo mecanicista, se generaliza una tendencia reduccionista y se cree que se podrá explicar lo que acontece en el universo por medio de leyes causales simples e inmutables. La ciencia tiene una regularidad rigurosa y se excluye la idea del tiempo como expresión de irreversibilidad de los procesos.

Enfrente tenemos una concepción del mundo en evolución, y surgen las primeras preguntas: ¿Cómo encaja en la descripción fundamental atemporal que dan ‘las leyes de la naturaleza’? Dado que el aumento de entropía está asociado a un desorden creciente, ¿Cómo podría entonces un proceso de esas características producir estructuras complejas como la vida, en particular la vida humana?

Las leyes newtonianas que pretendían expresar certezas, ahora deberán expresar posibilidades. Estamos en un mundo en construcción y por eso afirmamos la posibilidad de progreso, en tanto las estructuras complejas son resultado del no equilibrio. Habrá que encontrar una vía intermedia entre el determinismo alienante y la concepción de un universo gobernado absolutamente por el azar. Si el mundo fuera determinista no habría lugar para las utopías porque todo el futuro estaría escrito en el pasado. El equilibrio no es la finalidad ni la meta de los sistemas

abiertos; para mantenerse viable un sistema abierto debe hallarse en un constante estado de desequilibrio.

En este marco cobran importancia los siguientes conceptos:

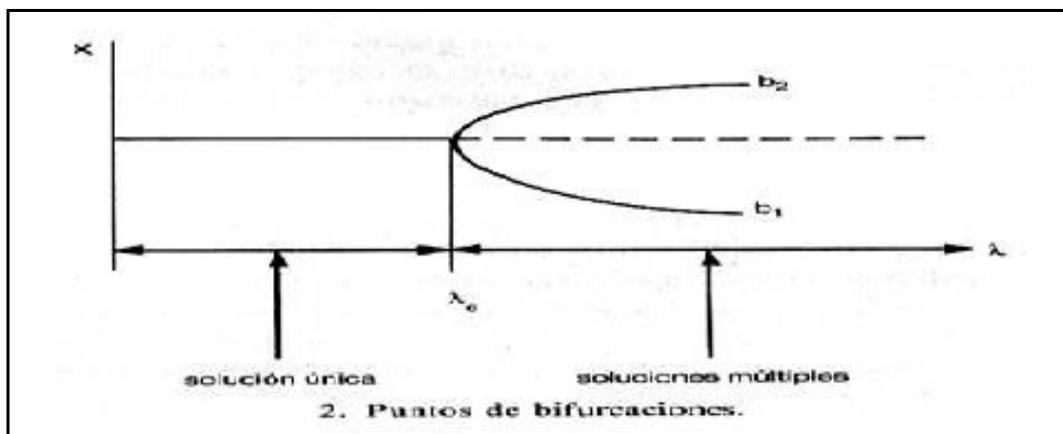
- ◆ Estructuras disipativas.
- ◆ Desequilibrio termodinámico
- ◆ Procesos irreversibles – flecha del tiempo.
- ◆ Protagonismo del azar e imposibilidad de certezas absolutas.
- ◆ Creación simultánea de orden y desorden.
- ◆ Universo aparece como uno realizado y muchos posibles.

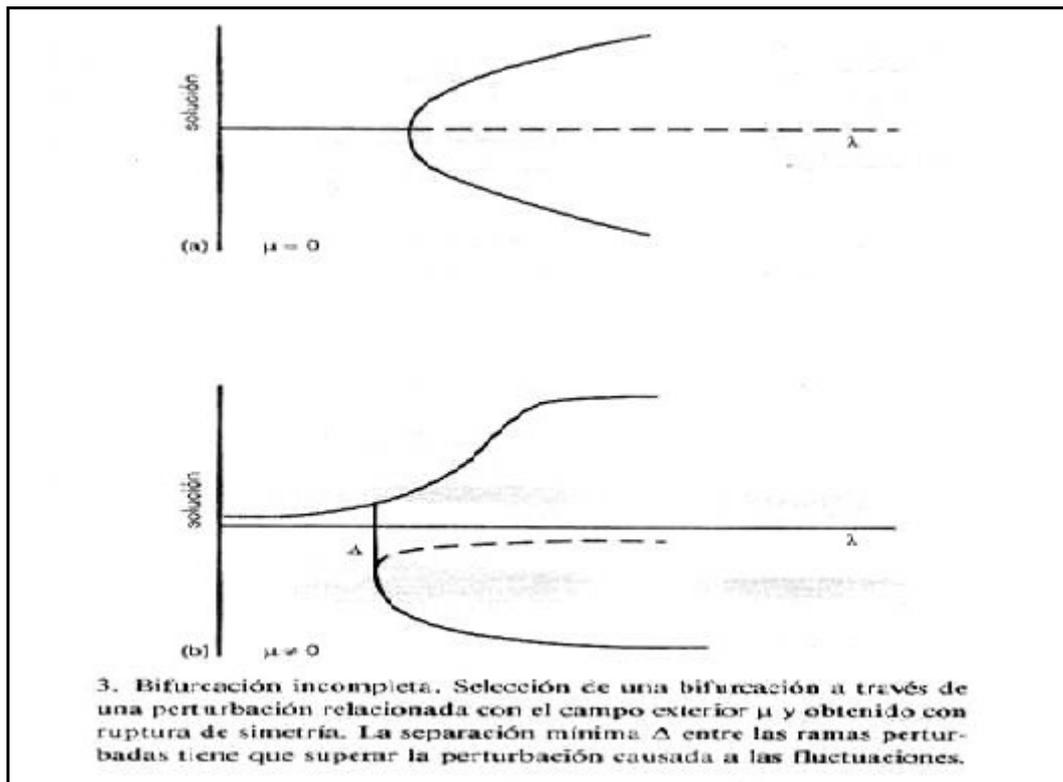
Las estructuras de equilibrio pueden ser mantenidas por medio de transformaciones reversibles que implican pequeñas separaciones respecto a este. Las estructuras disipativas son distintas porque se forman y mantienen mediante el intercambio de energía y materia en el transcurso de un proceso. Alejándonos del equilibrio se presentan nuevas situaciones –a veces más organizadas que en situación de equilibrio-. Se considera la existencia de equilibrio –desequilibrio –reequilibrio, formando parte de un proceso con cambios que resulta afectado por fluctuaciones internas y por perturbaciones externas.

Se acepta la complejidad en la visión del largo plazo, aún cuando los comportamientos sean erráticos y por igual motivo se elaboran programas de acción precisos para el corto plazo. Se observa el cambio a todo nivel, con sus señales tempranas –neutralizando las indeseables y promoviendo las deseables-, aprendiendo a correr riesgos controlados. Se opera con la repetición y se trata de hallar los patrones de conducta de la realidad parcial –fractales- con la que se experimenta y a partir de la cual se intentará generalizar.

En los puntos de bifurcación se presentan las soluciones a ecuaciones lineales. Frecuentemente una ecuación no lineal admite varias soluciones, por ello el equilibrio o su proximidad constituye una solución pero ésta no es la única. El no equilibrio es creador de estructuras, las disipativas, que sólo existen lejos del equilibrio y reclaman para continuar y evolucionar un cierto consumo de energía para mantener una interacción con el mundo exterior. La estructura disipativa desaparece cuando deja de ser alimentada. Cerca del equilibrio hay un mínimo de energía y entropía, pero lejos del equilibrio, no hay valores extremos y las fluctuaciones no son amortiguadas; la materia capta correlaciones. El no equilibrio es fuente de estructura.

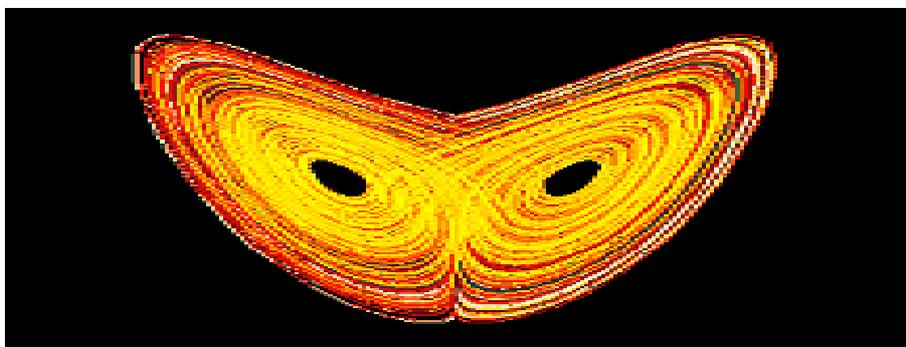
En las figuras siguientes, se grafican puntos de bifurcación y bifurcación incompleta de procesos caóticos.





Se debe pensar en términos de probabilidades, no de trayectorias. El no equilibrio puede ser formalizado a través de ecuaciones deterministas. Las bifurcaciones son numerosas y cuando se repiten las experiencias, el camino seguido no es siempre el mismo.

Dentro de los sistemas dinámicos, se distinguen los sistemas estables y los inestables. Entre los inestables se distingue uno en particular asociado con el caos determinista. En el caos determinista las leyes microscópicas son deterministas pero las trayectorias toman un aspecto aleatorio que procede de la sensibilidad a las condiciones iniciales. En otros tipos de sistemas inestables, la inestabilidad llega a destruir las trayectorias (sistemas no integrables de Poincaré). La teoría del caos debe formularse a nivel estadístico, lo que implica que la ley de la naturaleza toma un nuevo significado; en lugar de hablar de certidumbre hablamos de posibilidad y de probabilidad.



La flecha del tiempo es simultáneamente, el elemento común del universo y el factor de distinción entre lo estable y lo inestable. El caos no explica todo; la historia y la economía son inestables y presentan la apariencia del caos pero sin obedecer a leyes deterministas subyacentes. Habrá que integrar la idea de inestabilidad en nuestra representación del universo. La irreversibilidad temporal está ligada, esencialmente a la novedad evolutiva y ésta a la imprevisibilidad.

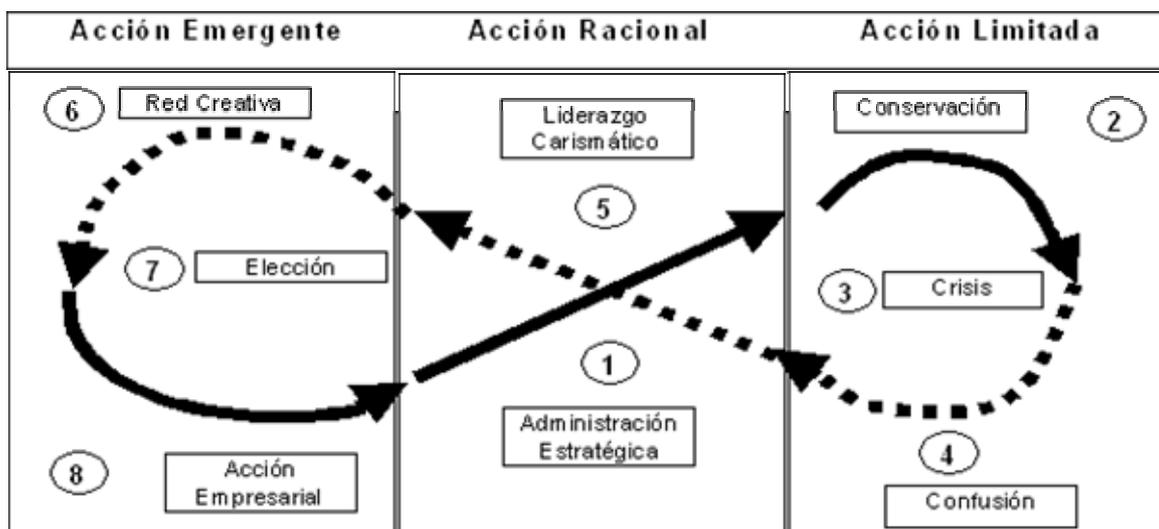
Los procesos que rigen la vida no son lineales y sencillos, sino dialécticos e implican saltos repentinos en los que la cantidad se transforma en calidad.

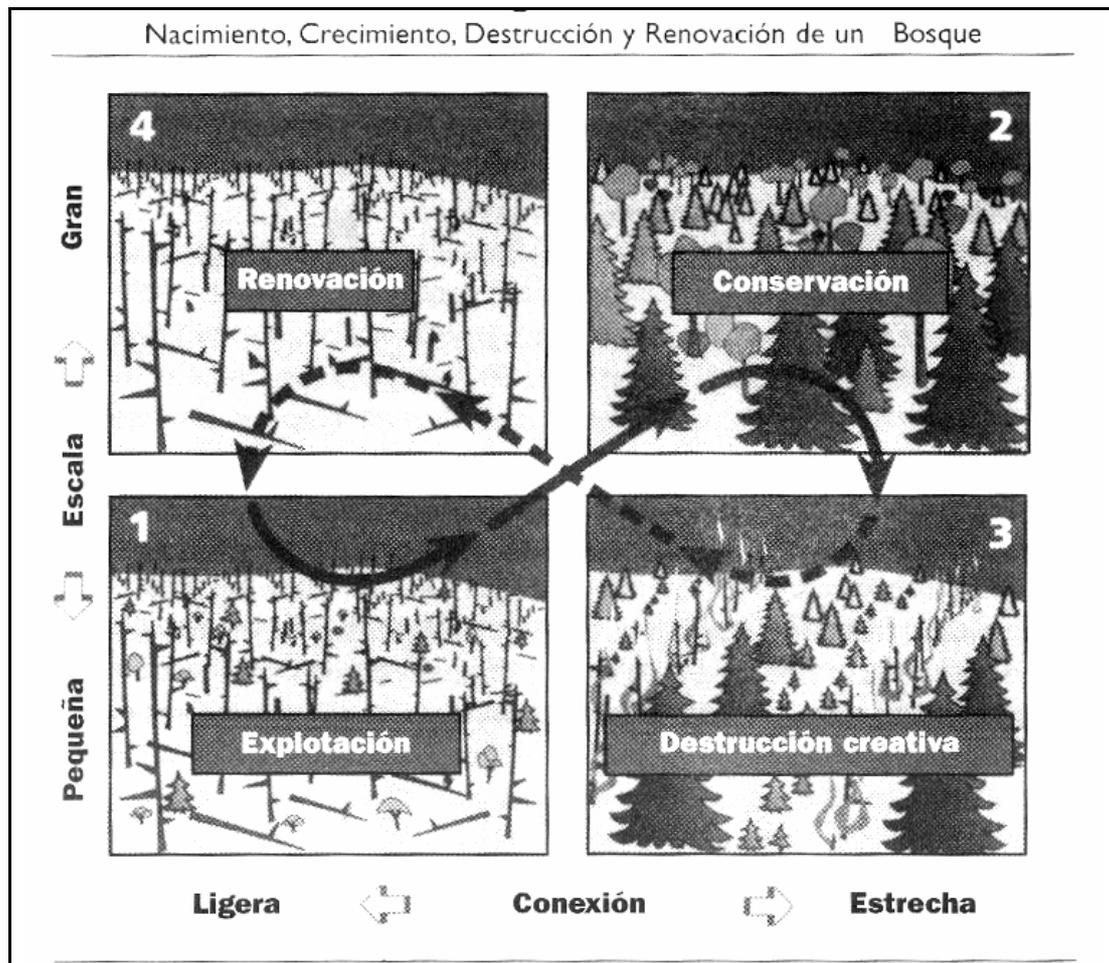
La termodinámica lineal describe el comportamiento estable y predecible de sistemas que tienden hacia el mínimo nivel de actividad posible; sin embargo cuando las fuerzas termodinámicas que actúan en un sistema llegan al punto en que sobrepasan la región lineal ya no se puede seguir asumiendo la estabilidad. Surgen turbulencias a la que se consideró como sinónimo de desorden y caos. Se ha descubierto que lo que parece ser simplemente desorden caótico a nivel macroscópico (a gran escala) de hecho está altamente organizado a nivel microscópico (a pequeña escala). El punto de vista tradicional era considerar a los procesos irreversibles como una molestia provocada por la fricción, pero sin procesos irreversibles la vida no sería posible. El caos tiene varias acepciones: como desorden; como negación del futuro; como germen de posibilidades de la cuales algunas se realizarán y otras no.

Vivimos en un mundo pluralista que contiene el determinismo, la aleatoriedad, la reversibilidad y la irreversibilidad. Sin la presencia del caos no habría sorpresa y no existiría la posibilidad de irrumpir en nuevos estados ordenados de figuras complejas para describir dentro del macro orden de la naturaleza el micro caos del proceso íntimo de formación fascinante de figuras con sorprendentes patrones de simetría.

Hay fenómenos determinísticos como el péndulo o el movimiento de la luna en torno a la tierra; en el caso del péndulo sin fricción el movimiento es también reversible; pero por otro lado también existen procesos irreversibles, como la difusión de dos líquidos o las reacciones químicas. Cuando el sistema se aproxima al punto de bifurcación, las descripciones deterministas son inaplicables; y son las fluctuaciones las que determinan qué rama estacionaria será elegida; pueden incluso cambiar la posición de un punto de bifurcación hasta suprimirlo. La mecánica cuántica ha introducido el elemento aleatorio microscópico. Hoy en día vemos también que las nociones de lo aleatorio y las fluctuaciones penetran en el dominio macroscópico.

Las teorías caóticas resultan fundamentales para anticiparse, explicar y superar crisis. Tal como lo manifiesta David K. Hurst (1998) tanto en la vida de las personas como en las Organizaciones se puede transitar procesos de crisis y procesos de renovación. Las fronteras entre cada fase son difusas y existen procesos de integración con elementos desconectados que se convierten en organizaciones en tanto también son posibles procesos de desintegración en los que las organizaciones dividen sus elementos.



*Ejemplo de un Ecociclo*

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.

## 2. Afectación de los mercados economicos

En base al análisis económico de lo elemental se puede y se debe buscar (en lo que los físicos llaman un 'espacio de fases'), los denominados 'atractores', para identificar en los distintos puntos del tiempo y del espacio las correspondientes pautas comunes de comportamiento de los agentes económicos. Esto constituye una base fundamental para edificar de abajo hacia arriba la política y el sistema de decisiones en las Organizaciones.

Resulta necesario tratar de identificar y de comprender, la naturaleza y forma de actuar de los distintos 'genes' del sistema económico, a fin de llegar a descifrar las pautas de actuación y las regularidades del genoma económico; ello nos permitiría explicar mínimamente el comportamiento elemental de cada uno de esos genes, para poder así inducir una actuación coordinada y eficiente de los mismos, con la consecuente minimización de las disfunciones individuales que dan lugar a las inoperancias globales del sistema económico en su conjunto.

Los precios de los activos financieros son el resultado de una infinidad de interacciones imposibles de resumir de forma sencilla. Por ello, aún considerando que responden a una lógica económica, resultan imposibles de estudiar con precisión. Esta imposibilidad de estudio se presenta de forma evidente cuando de predecir un precio se trata y afecta a toda la doctrina económica que intenta explicar los fenómenos de formación de precios. Sin embargo, cuesta creer que los procesos económicos, y en particular los procesos de formación de precios de los activos financieros, respondan a una absoluta falta de lógica. La experiencia parece mostrar una relación coherente entre diversos procesos, aunque esta coherencia sea cambiante o aparezca y desaparezca en distintos momentos. En este sentido se suele recurrir a la explicación sobre el largo plazo, en la que se señala la existencia de un proceso coherente, por sobre el ruido del corto plazo. Resultará más fácil entender el problema si se lo enfoca de forma general a partir de la caracterización de los procesos, tal como se comienza a vislumbrar desde hace unas décadas con las teorías caóticas. Definidas las características de los procesos, y en particular las de los de formación de precios de activos financieros, podremos saber si la coherencia de los mercados es planteable.

### *Caracterización de procesos*

Los procesos observados son resultados de una teoría en la que luego de la medición, obtenemos una serie de números que habrá que analizar. Si las posteriores observaciones, es decir, si las series de números posteriores no concuerdan con la teoría, entonces la teoría será desechada. Se requiere trabajar de partida con una teoría de procesos que permita definir sus tipos en los que pueden encajar las observaciones.

El convencimiento subyacente a todo el pensamiento científico, era que todo proceso era determinista y el azar era simplemente el resultado de nuestro desconocimiento preciso de la realidad. Este punto de vista, denominado mecanicista, había sufrido cuestionamientos procedentes de la física (principio de incertidumbre de Heisenberg y mecánica cuántica), de las matemáticas (teorema de incompletitud de Goedel) y de la astronomía (el problema de los tres cuerpos, ya planteado por Newton). Sin embargo, el paradigma mecanicista ha calado tanto en nuestra forma de ver el mundo en general y económico en particular que resulta realmente difícil escapar a él.

A pesar de ello, podemos establecer una primera caracterización de procesos atendiendo a su grado de predictibilidad:

Si lanzamos una piedra y medimos los puntos de su trayectoria, podremos determinar dónde estará la piedra un tiempo después. La trayectoria de la piedra es totalmente predecible; después de lanzar muchas piedras y medir sus trayectorias podemos establecer una teoría sobre como se mueven las piedras. Podemos predecir dónde estará la piedra y, tan importante como ello, donde no estará.

Este tipo de procesos caracterizados por tener una predictibilidad conceptual de 100% se denominan *procesos deterministas*. El segundo gran grupo está formado por los *procesos aleatorios*. En ellos no sabemos dónde estaremos, pero podemos medir la probabilidad de estar en algún punto determinado. Aquí la primera certeza absoluta es que alguna vez estaremos en ese punto; y una segunda certeza absoluta: pasaremos por todos los puntos posibles en algún momento; tenemos una predictibilidad probabilística. En un tercer grupo, no podemos medir la probabilidad de estar en un punto y no sabemos si podemos pasar por un punto determinado; son *procesos caóticos*. La informática ha permitido estudiar un tipo especial de subprocesos de este tercer grupo denominado caos determinista.

Aunque esta clasificación de procesos nos ayuda a estudiar la formación de precio de un activo financiero, estamos todavía lejos de poder utilizarla. La calificación del proceso no resulta evidente. Habrá que estimar si existe o no cierto grado de predictibilidad y para ello tendrá que recurrirse a una forma intuitiva de ver el proceso que se está estudiando empleando gráficos de la serie numérica. Se podrá distinguir tres tipos de series:

- Series antipersistentes: se llaman a sí a las que cambian continuamente de dirección, no manteniendo ninguna tendencia. Los cambios de dirección pueden ser relativamente estables, (manteniendo una caracterización estadística clara con procesos de retorno a la media), o inestables.
- Series aleatorias: mantienen tendencias que cambian de dirección mediante cambios graduales, sin que existan saltos importantes.
- Series persistentes: mantienen tendencias que acaban de forma abrupta, mediante saltos importantes y con tendencias que suelen ser muy largas.

Estos tres tipos de series responden a procesos conceptualmente distintos y pueden en algunos casos calcularse el coeficiente de Hurst (H) que caracterizará el tipo de proceso.

- Procesos sin ninguna memoria del pasado: series antipersistentes;  $H < 0,50$ .
- Procesos con memoria del pasado reciente: series aleatorias;  $H = 0,50$ .
- Procesos con memoria del pasado lejano: series persistentes;  $H > 0,50$ .

La primera clasificación de procesos atiende a la predictibilidad y a la estructura, mientras que la segunda considera a la memoria del proceso. Entonces, los procesos pueden clasificarse en función de la memoria, la predictibilidad y la estructura. Según esta clasificación, *los procesos de formación de precios* podrían clasificarse teniendo en cuenta que tienen memoria, aunque todavía no sabemos si de largo o corto plazo, si son impredecibles y si deberían estar dotados de cierta estructura.

La discusión sobre si los procesos de formación de precios tienen memoria del pasado reciente, -lo que les conduciría a ser procesos aleatorios-, o del pasado lejano, -lo que les conduciría a ser procesos persistentes-, no ha sido resuelta. La teoría tradicional considera que son procesos aleatorios, lo que permite su estudio estadístico. La modelización de precios de opciones de Black-Scholes, la teoría moderna de gestión de Sharpe y la disminución del riesgo por covarianzas de Markowitz, son ejemplos de este punto de vista, por más que sus fracasos prácticos la pongan continuamente en cuestión. Adicionalmente, en el análisis de la predictibilidad se presenta el inconveniente de la falta de instrumentos de análisis para el caso de encontrarnos ante procesos con memoria del pasado lejano, lo que hace que, de momento, no se pueda siquiera evaluar la predictibilidad salvo en el caso de proceso aleatorio. La discusión sobre estructura conduce a la puesta en cuestión de la teoría económica, lo que debe ser efectuado con una base teórica alternativa, en tanto la existencia de una cierta estructura parece confirmada por la experiencia.

#### *Variables, dimensiones y observaciones*

Otro problema se presenta con la toma de datos. Cuando se lanza una piedra y se toman datos de distancia vertical y horizontal al punto desde el que se suelta la piedra, la representación gráfica de estos datos dará una función de la altura y la distancia: es una función en el plano de dimensión 2. Sin embargo, el proceso no tiene por qué tener dimensión 2; de hecho, en el ejemplo, el número de variables del proceso no tiene que ver con los datos observados. ¿Cómo podemos, entonces, estudiar un proceso del que desconocemos su dimensión real -número de variables- y del que sólo conocemos un aspecto especial -nuestra serie de datos- cuya dimensión probablemente no tiene nada que ver con la del proceso? La respuesta es que, salvo excepciones, el proceso no es estudiable.

Suponiendo que estamos en presencia de un proceso con un número N de dimensiones y que el proceso nos es desconocido, siendo capaces de tomar datos de todas las variables, se tendría una representación gráfica del proceso en un espacio de N dimensiones. Pero si se nos escapa una variable, que queda sin medir: entonces lo que se tiene es una aproximación gráfica al modelo en un espacio de N-1 dimensiones. Esta aproximación gráfica puede ser suficientemente descriptiva como para que podamos caracterizar el proceso, que es lo que buscamos.

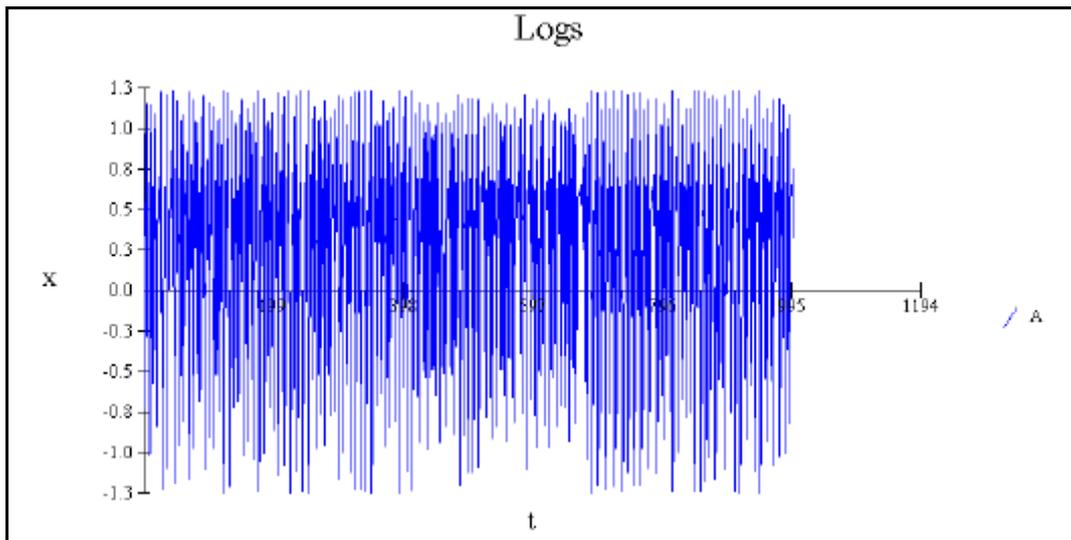
Esta aproximación fue introducida por Poincaré y, desde entonces, se denominan ‘secciones de Poincaré’ a las imágenes producidas por el conjunto de puntos de un proceso de dimensión  $N$ , al atravesar un espacio de dimensión menor que  $N$ . Normalmente, por razones de claridad, las secciones de Poincaré se estudian en un espacio de tres dimensiones cortado por un plano.

Si ahora tenemos un proceso determinista, totalmente predecible y estructurado en un espacio de tres dimensiones. La sucesión de puntos de ese proceso en el espacio de tres dimensiones (trayectorias) puede ser la deseada, pero, en cualquier caso, si cortamos ese espacio con un plano, las trayectorias cortarían al plano en algunos puntos (la sección de Poincaré). Si el proceso es tal como lo hemos definido, entonces la sección de Poincaré será un objeto geométrico sencillo y claramente definido. Puede ser un punto, una circunferencia, una recta, una curva, una espiral; puede ser cualquier otra figura, pero siempre será un objeto claro. La sección de Poincaré revela la estructura y la predictibilidad del proceso.

¿Y si el proceso es aleatorio? Entonces la sección de Poincaré será una nube de puntos que tenderá a ocupar todo el plano. ¿Y si el proceso es caótico? Entonces la sección de Poincaré será lo que se denomina un atractor extraño, es decir, un conjunto de trayectorias impredecible pero totalmente estructurado. Nunca podremos saber si estando en un punto de una trayectoria vamos a volver a pasar cerca; y mucho menos cuándo. Pero tendremos una figura extraordinariamente compleja, no una figura sencilla ni una nube de puntos.

Este proceder no resuelve el problema de la dimensionalidad de un proceso, pero ayuda a caracterizarlo. Se podría estudiar las secciones de Poincaré del proceso y, a partir de ellas, caracterizarlo, a partir de la medición de las variables relevantes (lo que a priori no sabemos aunque sí suponemos). Nuestro desconocimiento del proceso nos lleva a intentar caracterizarlo, lo que exige la medida de variables relevantes, lo que a su vez exige un conocimiento previo del proceso, que no existe. La necesidad de una teoría previa, que supla el desconocimiento absoluto inicial, aparece con toda su crudeza. Pero las secciones de Poincaré nos permiten, por lo menos, acercarnos a una caracterización intuitiva sobre la que construir una teoría previa.

Existe una coincidencia entre nuestras tipologías de procesos y las secciones de Poincaré: bastaría con determinar la dimensión fractal o el coeficiente de Hurst de las trayectorias en la sección de Poincaré para caracterizar el proceso. Y podríamos determinar los máximos exponentes de Lyapunov en cada una de las dimensiones de la sección de Poincaré para determinar la existencia de caos. O aproximar la dimensión fractal y el coeficiente de Hurst mediante la pendiente del espectrograma doble-logarítmico de Fourier. Pero en todos estos casos nos encontramos con un problema muy importante: los algoritmos utilizados para calcular esas magnitudes sólo son válidos en procesos de pocas dimensiones. Esto es una restricción esencial en la práctica, ya que, justamente, desconocemos la dimensionalidad del proceso que estudiamos. Si dudamos entre un proceso aleatorio y un proceso caótico, y nuestra intención es establecer una distribución probabilística sobre una dimensión; la determinación de la dimensión fractal se transforma en esencial, ya que de ser un proceso aleatorio y dimensión fractal 2, la función de distribución general de Paretto-Levi se transforma en la Normal de Gauss, perfectamente conocida; pero si la dimensión fractal no es 2, entonces estamos ante un proceso cuya distribución no es gaussiana, sino una Paretto-Levi inmanejable, de la que se desconocen más cosas que las que se conocen. (por ejemplo, la suma de variables normales con media y desviación típica conocida, es una distribución normal con media y distribución típica conocida; en el caso de las Paretto-Levi, no se sabe como es la distribución de una suma de variables, salvo en el caso particular de que tengan la misma dimensión fractal).



Como hemos dicho, se podrá utilizar las secciones de Poincaré para caracterizar el proceso, sabiendo que los algoritmos utilizados sobre estas secciones para calcular las magnitudes esenciales, sólo son válidos si el proceso es de dimensión baja.

#### *Simulación procesos formación de precios: conjetura de independencia*

En base a trabajos previos sobre funciones aplicadas a series de precios, se han realizado simulaciones (funciones logísticas) para procesos generales que no requieran datos específicos en cada mercado. Así en una serie de precios caracterizada por la volatilidad y el rango entre días medio, debía derivarse el diferencial comprador-vendedor y el número de transacciones diarias. Con ciertas salvedades en cuanto al cómputo del número de operaciones diarias en algunos mercados, las series simuladas tenían un rango entre días y una volatilidad equivalentes a la del mercado que se pretendía simular. La extensión del simulador a series de valores, ha generado nuevas dudas en cuanto al funcionamiento de los mercados, sobre todo en el significado del diferencial comprador-vendedor por sobre el número de transacciones diarias.

La conjetura de independencia dice que los procesos de formación de precios en mercados financieros eficientes sólo dependen del diferencial comprador-vendedor y del número de transacciones diarias. Se entiende aquí por mercado financiero eficiente aquel en el cual cualquier participante puede presentar una oferta de compra o una oferta de venta, y puede aceptar una oferta de compra o una oferta de venta, sobre un volumen relativamente constante en el tiempo. Sin embargo, el éxito relativo de la simulación ha planteado un serio problema conceptual: si las características esenciales de una serie de precios solamente dependían del número de transacciones diarias y del diferencial comprador-vendedor, entonces, ¿tenían estructura los mercados? ¿por qué parecía haber relaciones entre distintos instrumentos? La experiencia diaria de los mercados señala que los movimientos de los precios parecen apoyar la conjetura de independencia. Pero la experiencia en el largo plazo opuestamente, parece apoyar la existencia de una estructura de mercados que, en cierta forma, debe anular a la conjetura de independencia.

La experiencia muestra que existe una coherencia en el funcionamiento del sistema económico. A partir de la caracterización de los procesos de formación de precios como caóticos, podemos pensar que esa coherencia no responde a un principio de racionalidad que haya que incluir en la explicación de los procesos económicos, sino que basta con que los procesos tengan estructura, aunque esto sólo sea en una particular sección de Poincaré. El carácter persistente de las series de precios apunta a esa caracterización caótica. A partir de allí, el carácter antipersistente estable de las series permite pensar en una cierta predictibilidad; y el carácter cíclico no periódico (típico de los procesos caóticos) de las series permite pensar en la estructura del mercado.

En términos generales existen tres instrumentos sobre los que se ha discutido ampliamente las posibles relaciones en el ámbito de los mercados bursátiles. La doctrina señala que existe una relación entre los tipos a corto plazo, los tipos a largo plazo y los precios de las acciones. Resulta innegable que existe una relación, aunque al final sólo sea porque parece inverosímil que los tipos a corto plazo puedan subir eternamente y la bolsa también. Y la relación entre rentabilidad de las acciones y la prima de riesgo sobre los tipos a largo plazo ha sido objeto de miles de estudios. Pero ¿existe una relación?

La hipótesis de coherencia global dice que, siendo localmente válida la conjetura de independencia, los procesos de formación de precios -y por extensión los procesos económicos-, responden a una estructura global, de tal forma que aunque la trayectoria del proceso no es predecible -debido a la conjetura de independencia-, nunca pasará por todos los puntos del espacio, es decir, que habrá combinaciones de precios o dinámicas de precios, que no se podrán dar jamás. La hipótesis de coherencia global parece, de momento, mucho más una necesidad conceptual que una posibilidad teórica. Hasta aquí resulta necesaria para explicar la experiencia y la teoría económica que procede de esa experiencia. Existe, sin embargo, una metodología que podría justificar la hipótesis de coherencia global sin recurrir a la experiencia.

De manera preliminar, se comprende entonces, que los mercados son caóticos en el sentido de impredecibles pero estructurados, lo que se refleja en la existencia de memoria de largo plazo. A partir de ello se puede transformar las series de precios en series antipersistentes estables y estudiar su estructura cíclica no periódica. El carácter antipersistente de la transformación de la serie de precios refleja la impredecibilidad correspondiente a la conjetura de independencia. La estructura cíclica no periódica subyacente corresponde a la hipótesis de coherencia global.

El principal aporte de la teoría de caos es que otorga una explicación teórica de la existencia de sistemas dinámicos con comportamientos irregulares sin la necesidad de recurrir a variables estocásticas. Los atractores caóticos han permitido incorporar la flecha del tiempo a las leyes científicas de la economía, obligando a ésta a abordar el debate sobre la elaboración de una síntesis que abarque orden-desorden, estabilidad-inestabilidad, equilibrio-no equilibrio, de modo que, aprovechando el avance tecnológico de los ordenadores, se puedan unir las piezas que había separado el reduccionismo de la ciencia clásica. Y es que, si bien ésta, con la introducción del tiempo, supuso un progreso, empobreció, sin embargo, la noción del mismo, dando lugar a la dicotomía de las dos culturas del tiempo, el reversible o matemático de la ciencia clásica y el orientado de las ciencias biológicas y sociales, dicotomía que actualmente, con la generalización de las leyes científicas y la incorporación de la inestabilidad caótica, está desapareciendo. Este debate, que en la física se encuentra ya muy avanzado, apenas se ha iniciado en la economía.

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.

#### *Ideas interrelacionadas especialmente relevantes*

- ◆ 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 como un tema especialmente importante en la economía puesto que, 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, 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.

### **3. Impacto en la gestión financiera**

Cada modelo de pensamiento científico genera modelos políticos, sociales y económicos, y para cualquier observador neutral es obvio que los esquemas utilizados hoy en el management, en las finanzas y en la política económica muestran una falta de ajuste con la realidad que, afecta a nuestras creencias y valores. Las tensiones, inestabilidad y turbulencias que caracterizan los sistemas reales han generado una crisis de credibilidad sobre la predicción y el control en estos ámbitos de la economía que obliga a introducir nuevos modelos de pensamiento científico. Así, la filosofía y las técnicas del management tuvieron su origen y desarrollo en entornos más simples y en principios científicos en los que el orden y el equilibrio, propiciaron organizaciones y gestiones estables, jerarquizadas y burocratizadas.

La Economía afecta a las Finanzas tanto se trate de aspectos micro como macroeconómicos. En entornos más inestables e inciertos aparecieron ya principios y técnicas que permitían predecir y anticipar el futuro. El predominio de la información exigió organizaciones descentralizadas, gestiones desburocratizadas y controles basados en la confianza, la responsabilidad y la participación. Con la globalización de la economía, la interdependencia y la innovación se presentan inestabilidades e incertidumbres donde los cambios del entorno ya no resultan predecibles ni controlables. La información del entorno, realimentada por las propias actuaciones gestoras se torna variable endógena, y no permite establecer horizontes temporales de gestión ni el necesario tiempo de aprendizaje para la adaptación. La teoría del caos, basada en principios de globalidad, holísticos, de no-equilibrio y de inestabilidad limitada, proporciona modelos y técnicas para el estudio de las emergentes organizaciones fractales, informales o amorfas, que practican el aprendizaje complejo en la oportunidad y gestionan la innovación y la creatividad.

La conducta caótica es la agregación de muchas conductas ordenadas, si bien ninguna de ellas prevalece en situaciones ordinarias. El caos es impredecible, pero determinable. Dicho de otro modo, el caos no es aleatorio sino que tiene un orden subyacente. Al respecto son conocidas diversas experiencias y aportes que paulatinamente condujeron a la idea de un 'nuevo paradigma', en el que la presencia del desorden muestra que "al parecer, el orden no era la constante del universo"

La nueva economía se sitúa en entornos abiertos de ámbito mundial donde se generan procesos complejos como la globalización que plantea problemas de gestión y control. Como 'entorno de entornos', la mundialización, significa el fin de los espacios cerrados y la vigencia de un nuevo espacio y de una nueva sociedad mundial, es decir, pluralidad sin unidad. Es en este nuevo ámbito donde surgen los nuevos fenómenos culturales, sociales, políticos, económicos y científicos que dan lugar a procesos más o menos complejos.

En lo global, los mercados no tienen límites geográficos. Es destacable la gestión financiera en la que la reflexividad en los mercados financieros hace que el futuro que intentan prever los

decisores dependa de sus propias decisiones. Este aspecto es uno de los factores sugestivos de la llamada gestión del caos. Esta teoría que permite anticipar climas de inestabilidad que nos indican los límites de predicción. La información que sirve de base para esa predicción, al estar contaminada por las decisiones de los actores, se convierte en una variable endógena, de forma, que el propio gestor crea el futuro, a diferencia del gestor financiero convencional que intenta predecirlo mediante una información exógena.

La actuación de las autoridades monetarias, fundamentadas en estrategias de la economía del equilibrio y con la información exógena desfasada, contribuye a esa inestabilidad y al alejamiento del equilibrio favorable al escenario que en la teoría del caos se denomina inestabilidad limitada. Nos encontramos ante perturbaciones e información endógenas que emanan del propio sistema, tal como sostiene la teoría del caos. Se trata de un mercado que, aunque alejado del equilibrio interno, puede estar en equilibrio o próximo al equilibrio con su entorno económico global. Ello demanda gestiones capaces de rentabilizar esa inestabilidad limitada.

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

- 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.
- 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 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.
- 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.
- 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 la tabla siguiente se contrastan los elementos más relevantes de la vieja y de la nueva Economía que inciden en los análisis financieros y en la gestión que la Organización realiza al

planificar y al controlar su funcionamiento y al poner en práctica las estrategias para la consecución de los objetivos perseguidos.

**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 XIX (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
Énfasis en cantidades, precios y equilibrio	Énfasis 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 XIX, 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 étnica de la población; las generaciones transmiten sus experiencias
Alto uso de índices; Individuos idénticos	Énfasis 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 pendiendo 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 Cotander (2000:6-7)

*Niveles de Operación**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.

*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.

*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 agregación.
- 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 subgrupos 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 agentes.

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, cíclicos, 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 periodos y en esto también difieren de los modelos tradicionales, que hacen de la predicción, con 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 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, desear o modificar su esquema de decisión. En definitiva, gracias a este feedback los agentes pueden aprender. 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 de vista que lo que se está simulando es el comportamiento de agentes virtuales y no de agentes reales.

Se ha considerado que la dinámica no lineal compleja resulta bastante apropiada para modelizar el comportamiento de la economía afectando por ende al objetivo y las estrategias emergentes de las Finanzas, en virtud a los siguientes hechos:

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

Con relación al capital de trabajo, las variaciones de los siguientes factores –que podrían analizarse y estudiarse a la luz de las teorías caóticas-, inciden fuertemente en su determinación:

- a) Precios de los insumos de los componentes del costo de los productos.
- b) Nivel de actividad y de venta de los bienes producidos.
- c) Empleo de técnicas e información sobre rotación en días que explican la duración de los ciclos económicos y los productivos.

Considerando lo precedente, al ser el capital de trabajo el motor de la rentabilidad de los negocios, también se impacta en el valor de los mismos. Incide en este también las variaciones de los precios de las acciones y los modelos de valuación de activos financieros que se empleen ya que a partir de sus evaluaciones, pueden tomarse decisiones correctas o incorrectas según como se observe la realidad y su evolución.

Las variaciones en las tasas de interés afectan la prima de riesgo y el valor de los activos por un lado, y por otro, la política de financiación de la empresa. En el primer caso, la gestión de administración de riesgos debe puntualizar sobre la naturaleza contextual, situaciones de incertidumbre, probabilidad aleatoria y comportamientos caóticos. Respecto de la financiación, los cambios inciden en el costo de capital y las tasas de corte utilizadas, en la mezcla de capitalización, en las estrategias de cobertura y también en las políticas de retención y distribución de utilidades.

Las finanzas definidas como un metasistema que mide y controla el valor de la Organización, estará impactada por la realidad económica y deberá preparar los sistemas de información

para que de manera interactiva muestren las alarmas y los peligros con indicadores y tableros que hacen el seguimiento de la estrategia financiera en particular y la estrategia del negocio en general.

#### 4. Conclusiones sintetizadas de los puntos anteriores

- ◆ La **entropía** se erige así en un principio básico que rige la evolución natural y espontánea de las cosas en este mundo. Dentro de este entorno, el hombre, haciendo valer su condición de ser inteligente, intenta establecer un cierto orden -dentro de este desorden natural- que le posibilite alcanzar un mínimo nivel de supervivencia e incluso de bienestar, para lo cual va creando en su provecho estructuras ordenadas por doquier, tanto físicas como de índole social, que disminuyen, por tanto, la entropía inherente al devenir espontáneo de la naturaleza.
- ◆ La **aleatoriedad en los mercados financieros** no se sostiene, sino que hay evidencia de una pseudoaleatoriedad, determinada por la dinámica del sistema. Es decir, se trata de una aleatoriedad intrínseca que genera un proceso pseudoaleatorio como lo es el caos determinista, el cual es generado por la dinámica del atractor que origina dicho proceso. En los casos extremos de aleatoriedad, como son los *crash* y *boom*, la teoría de caos permite explicar dichos acontecimientos como parte de la evolución endógena del propio sistema, sin la necesidad de recurrir a variables exógenas. Esta evolución endógena viene determinada por la sensibilidad a las condiciones iniciales lo que a través del efecto mariposa puede explicar un crash o boom bursátil.
- ◆ El hecho de que la evolución de los retornos accionarios se comporte en forma aleatoria también es explicado por la Teoría de Caos a través de los puntos o soluciones periódicas densas que se encuentran próximos de la **evolución de dicho sistema**. Así, se podrían repetir situaciones ocurridas en el pasado cuando la evolución del sistema pase nuevamente cerca de algún acontecimiento en particular. Por otra parte, en el muy corto plazo sería posible predecir la evolución de dicho sistema, lo que validaría el análisis técnico como herramienta predictiva. Con esto, la Teoría de Caos une las fluctuaciones rápidas, y a muy corto plazo, con las de largo plazo. Es decir, no separa sino que une los cambios de minuto a minuto o día a día con los de mes a mes o año a año.
- ◆ Lo que nos enseña el descubrimiento de los atractores extraños respecto a las predicciones estadísticas es que la aleatoriedad viene generada, no por causas extrínsecas, sino por la propia **dinámica global** del sistema. Reconocer, entre los fenómenos que se presentan como aleatorios, aquellos que podrían estar producidos por un atractor caótico es de fundamental importancia para plantearse una estrategia de gestión. Si el origen de la aleatoriedad procede del entorno, cabe la gestión basada en la planificación y el control en el cumplimiento de objetivos. En esta gestión no hay creación de entorno, ni aprendizaje; hay, como máximo adaptación a las señales del entorno y, cuando éste es muy cambiante, se reducen los plazos de la planificación. Cuando la aleatoriedad es intrínseca, es decir, cuando emana de la propia dinámica del sistema, ya no es posible esa predicción sobre la que se planifica y controla. Ahora es preciso considerar que la información del entorno va surgiendo de la propia dinámica interna del sistema, pasando a ser una variable endógena que ya no es susceptible de predicción, al depender de las propias decisiones de los inversores. Sobre la base de la propia información del sistema (cotizaciones, plazos, mercados), que se degrada en cuestión de minutos-, los analistas individuales toman decisiones en tiempo real, dando lugar a entornos que un analista ordinario como el broker no identifica como información propia de un entorno basada en los indicadores de coyuntura que maneja (índices de precios, tipos de interés, producto bruto interno).

- ◆ Los datos proveniente del entorno y los análisis efectuados por los decisores –sea empleando alguna técnica externa a él o procesando internamente para ir justificando su decisión, estimulan la comparación de precios que se transan en los mercados con el valor de los activos que motorizan la inversión. El **proceso decisorio económico** estará afectado por las variaciones caóticas que se perciban y / o registren tanto como por las posibilidades aleatorias cíclicas.
- ◆ Se podría comprender que según el modelo empleado –caótico o no caótico- se aborde la incertidumbre con **explicaciones diferentes** con lo que se llegue a justificar decisiones financieras contrarias emergentes de la misma economía. El valor hipotético de una decisión podrá amplificarse o simplificarse con sinergias positivas o negativas, según el caso, que dependerán de la percepción del inversor y de la posibilidad fáctica de ese curso de acción.
- ◆ La **metodología ARCH y GARCH**, univariante y multivariante, ha adquirido un auge reciente como instrumento adecuado para especificar y estimar modelos de volatilidad estocástica. Los modelos vinculados con el precio de los activos en mercados financieros relacionan la prima de riesgo con el retorno esperado y con la varianza del retorno. En otros términos, las especificaciones teóricas que usan la varianza como medida del riesgo, deben ser testados usando la varianza condicional. Es necesario confrontar los supuestos establecidos con la conducta de la realidad económica que se transcurre.
- ◆ La **gestión de riesgos y las políticas de inversión y financiación** deben considerar el comportamiento de las variables críticas determinando o estimando, los tipos de procesos económicos que las sustentan. Así, se hará un uso adecuado de tecnología y de información, que sin perjuicio de la correspondiente asunción de dosis de riesgos, posibilitará un ejercicio de cara a la realidad en la función financiera.

## REFERENCIAS

- Dinámica de Mercados*. Madrid. 2002.
- Jesús Lizcano Alvarez, *Una propuesta de análisis económico en clave de entropía*. Madrid. 2004.
- Espinoza C, Parisi F, Parisi A, *Evidencia de Comportamiento Caótico en Índices bursátiles americanos*. Chile 2007.
- Spronk, Trinidad Segovia, *Más de medio siglo en busca de una teoría sobre los mercados de capitales*. Estudios de Economía Aplicada, Madrid. 2005.
- Ruth Mateos de Cabo y Elena Olmedo Fernández, *Implicaciones del caos determinista en la Economía y la Gestión empresarial*. 2002.
- Mariano Matilla García, *Análisis de series bursátiles a partir de la teoría del caos*. Pontevedra. 2003.
- Ubaldo Nieto de Alba, *Predicción y caos en economía*. Universidad Complutense. 1998.
- Virginia Vera de Serio y Hugo Balacco, *Dinámica no lineal en economía. Un análisis introductorio*. 1996.
- Ilya Prigogine, *Las leyes del caos*. Editorial Crítica. Barcelona. 1999
- Ilya Prigogine, *El tiempo y el devenir*. Editorial Gedisa 1996. Barcelona.
- David K. Hurst, *Crisis y renovación*. Temas Grupo Editorial. 1998