

# El estudio de sistemas económicos complejos

**Guillermo de LEÓN LÁZARO**

Real Centro Universitario  
“Escorial-María Cristina”  
San Lorenzo del Escorial

**Resumen:** Una y otra vez, un año tras otro, una generación después de otra, los investigadores que trabajan en el ámbito de la economía y gestión de empresas, han intentado encauzar sus esfuerzos hacia la búsqueda de un *cuero científico* capaz de comprender mejor, explicar más adecuadamente y tratar con rigor los fenómenos, cada vez más complejos, que mueven la vida de los estados, de las instituciones y de las empresas.

**Abstract:** Again and again, one year after other one, a generation after other one, the investigators who are employed at the area of the economy and management of companies, have tried to channel his efforts it was doing the search of a scientific body capable of understanding better, explaining more adequately and treating with rigor the phenomena, increasingly complexes, which move the life of the conditions, of the institutions and of the companies.

**Palabras clave:** Economía, finanzas, deterministas, entropía, irreversibilidad, indeterminación, autoorganización.

**Keywords:** Economy, finance, determinists, entropy, irreversibility, indetermination, self-organization.

## Sumario:

- I. La búsqueda de leyes del comportamiento económico.
- II. Los conceptos de realidad y el tiempo.
- III. La concepción determinista.
- IV. El comportamiento global.
- V. La búsqueda de una alternativa al geometrismo.

- VI. La geometría facial.**
- VII. Nacimiento y desarrollo de una teoría de la incertidumbre.**
- VIII. La interpretación de las realidades actuales.**
- IX. Los nuevos horizontes de la ciencia económica.**
- X. Conclusión.**
- XI. Bibliografía.**

**Recibido: noviembre de 2011.**

**Aceptado: enero de 2012.**

## I. LA BUSQUEDA DE LEYES DEL COMPORTAMIENTO ECONÓMICO

La investigación sobre las leyes del comportamiento económico, pretenden proporcionar los cauces necesarios para hacer *menos hostil* la convivencia entre los miembros de nuestra sociedad y *más soportables* las batallas que se libran para conseguir ocupar un lugar en el incierto mundo que se vislumbra en el futuro.

Pero *cambiar* nuestro mundo exige, como paso previo, conocerlo en profundidad, descubrir, si existen, las leyes por las cuales se rige. En este *intento*, la *ciencia económica* y, como consecuencia de ello, las *ciencias que estudian* la empresa han ido impulsando, prácticamente desde sus orígenes, las miradas con que los físicos observaban el universo, con la esperanza de encontrar aquellas señales mediante las cuales, de alguna manera, se pudieran estimar los futuros escenarios en los que se desenvolvería la actividad económico-financiera de las organizaciones. Fruto de estas actitudes ha podido comprobar que a las *leyes de la naturaleza* le han seguido las *leyes económicas*. Pero también a los “vacíos” o “anomalías” en la naturaleza se han unido los “comportamientos anómalos” en los sistemas económicos. Y han surgido y se han agolpado en las mentes de tantos y tantos físicos las insistentes preguntas sobre el significado *de la realidad* y sobre la *existencia del tiempo*, al mismo tiempo que los economistas se interrogaban sobre la esencia de los *fenómenos económico-empresariales* y sobre el *funcionamiento* de las “fuerzas” que los provocan.

Tampoco nosotros hemos podido evitar que en los *recónditos vericuetos de nuestra mente* se agiten, en torbellino, unos pensamientos que buscan el impulso suficiente para emerger *en forma de palabras*, para, así, ser presentados en los escenarios que proporcionan las ferias de la Ciencia. En esta espera, han acudido para prestar su ayuda los *recuerdos de la Historia*. Y desde su reposo oscuro, las enseñanzas recibidas, otrora casi olvidadas, se han convertido en letra escrita, recuperando, de esta manera, la memoria de *escondidos conocimientos*.

Y, así, en el siglo XVI Giordano Bruno (1548-1600) escribía que “el es uno, infinito e inmóvil...” *No tiene nada fuera de él*, entendiéndose que es el

todo. *No tiene generación propia*, ya que no existe otra cosa que pueda buscar. No es *corruptible*, dado que no puede tornarse en otra cosa que pueda buscar. No puede *disminuir o aumentar*, puesto que es infinito. No es *alterable*, por no haber nada externo que le pueda afectar”. Esta idea, expresada así por Bruno, desteñiría el pensamiento científico occidental durante siglos y de ella se derivaría la *concepción mecanicista del universo*.

Pero mientras nuestra civilización consideraba el universo como un mecanismo de relojería, pensando que las *ecuaciones deterministas* conducían siempre a un *comportamiento regular*, la filosofía oriental, y el hinduismo es un ejemplo, poseía una percepción más compleja. Así, en el pensamiento hindú el “cosmos” atraviesa tres etapas: oración (cuyo Dios es Brahma), conservación (que tiene como Dios Vishnu) y destrucción (con el Dios Shiva). La conservación representa el *orden*, la destrucción el *desorden*. La distinción entre orden y desorden representa dos maneras de manifestar la divinidad: benevolencia, armonía por una parte, cólera, discordia por otra. Lo que *de ninguna forma* significa es diferencia entre el bien y el mal. Los *matemáticos*, hoy, empiezan a considerar el orden y el desorden como dos manifestaciones diferentes de un *determinismo subyacente*. En otras palabras, un mismo fenómeno puede dar lugar a sistemas diferentes que proporcionan conjuntos de estados, unos “ordenados”, otros “desordenados”.

Esta actitud frente al funcionamiento del universo ha sido consecuencia de la observación de los movimientos que en él se producen y los intentos de resolver los problemas sobre ellos planteados. Ilustrativo es, en este sentido, el contenido del capítulo tercero de la memoria *El problema de los tres cuerpos y las ecuaciones de la dinámica* de Jules Henri Pinchare (1854-1912), en donde se esfuerza en poner de manifiesto la *existencia de soluciones periódicas* páralas ecuaciones diferenciales. Parte del supuesto de que, en un determinado momento, un sistema se halla en un estado concreto y que en un momento posterior vuelve, de nuevo, al mismo estado. Todas las posiciones y velocidades son las mismas después que antes. Así, debe repetirse, una y otra vez, el movimiento que le ha conducido desde un estado de nuevo a sí mismo: *El movimiento es periódico*.

Para ejemplarizar esta idea, los físicos recurren a la sencilla imagen de un satélite artificial para el que se desea saber si posee una *órbita periódica*. Así, en lugar de seguir con un telescopio toda su trayectoria alrededor de la Tierra, lo enfocan de manera que “barra” un plano que vaya de norte a sur, desde un horizonte a otro, y que esté alineado con el centro de nuestro planeta. Toman nota del lugar donde pasa por primera vez, su rapidez y su dirección. Permanecen a la espera *sólo enfocando el plano*. *La periodicidad*

exige que vuelva a pasar por el mismo punto, a la misma velocidad y en la misma dirección. Actuando de esta manera, en lugar de observar todos los estados, basta con mirar unos pocos.

A esta superficie se le conoce como sección de Pinchare, quien la utilizó para *intentar* hallar *movimientos periódicos* de un cuerpo pequeño sujeto a las fuerzas de otros dos cuerpos con masas grandes, los cuales no se hallan afectados por él, por ejemplo una partícula interestelar y dos planetas. Los dos cuerpos grandes se mueven formando sendas elipses alrededor de su mutuo centro de gravedad, pero el cuerpo pequeño se mueve oscilante de un lado hacia otro sin que nada pueda hacer para cambiar su rumbo. Su comportamiento es complicado y antintuitivo. En efecto el sistema inicia una actividad en un estado y sigue una curva. Cuando vuelve a la *sección de Pinchare* pasa por otro estado, luego por otro y por otro..., y así sucesivamente. El sistema, en definitiva, atraviesa la sección de *Pinchare*, por una secuencia incierta de puntos. Pinchare se hallaba ante un panorama que hoy llamaríamos caótico.

En nuestro ámbito del pensamiento se puede señalar que el *estudio del comportamiento de los sistemas económicos* ha sido realizado, con frecuencia desde una cierta perspectiva, a partir de los procesos *mark óbvianos* y *pseudo-mark óbvianos*. En base a ellos, los investigadores han podido encontrar algunas soluciones a los *problemas secuenciales*, los cuales han llevado a considerar tres grandes grupos:

- a. Cuando a partir de *datos ciertos* y de un *sistema conocido*, los resultados van a converger en el límite. Se trata de *sistemas ergódicos*.
- b. Cuando bajo estas mismas circunstancias, el sistema no posee una solución única conocida, sino que tiene lugar una *oscilación regular* de *soluciones*. Nos hallamos ante sistemas *periódicos*.
- c. Pero existen también sistemas en los cuales por muchos periodos de tiempo que transcurran, no somos capaces de hallar *regularidades*, sino *estados*” desordenados”.

Nos sentimos *reconfortados* por la comodidad que proporciona el tratamiento de los dos primeros. Pero, en cambio, *nos desconciértala* impotencia ante la falta de “normas” de *comportamiento regularizadles*, en el último.

Este panorama, aún esbozado de manera grosera, puede explicar la ya señalada búsqueda de respuestas al significado de los dos elementos que subyacen en todo proceso de investigación: *la realidad y el tiempo*.

## II. LOS CONCEPTOS DE REALIDAD Y EL TIEMPO

Al adentrarnos en esta senda surge la primera pregunta: ¿Son estos conceptos indisolubles entre sí? Normalmente, asociamos la *realidad* al momento actual. El pasado *ha dejado de ser* y el futuro *no es* todavía. Parece que nuestro pensamiento *se desplaza* de tal manera que la incertidumbre del mañana deja de serlo para convertirse en la realidad efímera de hoy, la cual deja paso, a su vez, a la certeza del pasado.

Pero esta percepción *vital*, choca frontalmente con la *racionalidad* con que los físicos asumen el concepto de tiempo. Para ellos, existe un “paisaje temporal” en el cual se hallan todos los acontecimientos del pasado, del presente y del futuro. El tiempo no se mueve, se mueven los objetos en el tiempo. El tiempo no *transcurre*. Simplemente *es*. El flujo del tiempo es irreal, lo que es real es el *tiempo*.

Resulta reveladora, a este respecto, la correspondencia sostenida los últimos años de sus respectivas vidas, entre Michele Beso y Albert Einstein. Ante la insistente pregunta del primero: ¿qué es el *tiempo*?, ¿qué es la *irreversibilidad*?, el segundo le contesta “la irreversibilidad es una ilusión”. Con motivo del fallecimiento de Beso, Einstein escribe una carta a la hermana e hijo de aquel que contiene las siguientes palabras: “Michele se me ha adelantado en dejar este extraño mundo. Carece de importancia. Para nosotros, físicos convencidos, la distinción entre pasado, presente y futuro es sólo una ilusión, por persistente que esta sea”.

A pesar de tan rotundas aseveraciones, resulta difícil aceptar una naturaleza sin el transcurso del tiempo. Homero, en *La Aliada* coloca a Aquiles en una posición de búsqueda de algo permanente e inmutable, que sólo descubre tardíamente, al perder la vida. La obra se apoya, pues, en el problema del tiempo. Como contrapunto, en *La Odisea*, Odiseo puede elegir entre la *eterna juventud* y la *inmortalidad* (*será siempre amante* de Calipso) o el regreso a la humanidad, es decir *a la vejez y a la muerte*. Se decide *por el tiempo y el destino humano*, desdeñando la *eternidad y el destino de los dioses*. ¿Debemos nosotros elegir entre la *concepción atemporal* que presupone la alienación humana y la *aceptación del flujo del tiempo* que parece contravenir la racionalidad científica? Palpita una profunda incompatibilidad entre la “razón clásica” con una visión temporal y “nuestra propia existencia” sazónada por el tiempo.

No se puede negar la validez de los conceptos de *pasado* y *futuro*, aunque se sostenga la inexistencia del “flujo del tiempo”: En economía y gestión de empresas existen multitud de fenómenos irreversibles. Diríamos que son

mayoría. Existe, por tanto, *una asimetría de los objetos en el tiempo*, aunque no una asimetría del tiempo. En este sentido, por tanto, *la asimetría es una propiedad de los objetos*, no una propiedad del tiempo.

Para la física clásica, un reloj mide duraciones entre *acontecimientos*, no mide la velocidad con la que se pasa de un suceso a otro. En los estudios económicos y de gestión, el *transcurso del tiempo* se concibe como aquel proceso mediante el cual a medida que el reloj avanza, un instante va pasando y otro ocupa su lugar. Como reiteradamente hemos expuesto, en física, por el contrario, se acepta que son *igualmente reales* pasado, presente y futuro: la eternidad se halla presente en toda su infinita dimensión.

Si esto fuera así, nos podemos preguntar, ¿cómo se ha trasladado y llegado a arraigar en el subconsciente de economistas y estudiosos de empresas e instituciones, la idea de *transcurso del tiempo*? Quizás la respuesta se puede encontrar en los dos aspectos de la simetría.

- a. La *entropía de un sistema* se halla en relación directa con la información que recibe. Las nuevas sensaciones añaden información y, por tanto, aumentan la entropía. El almacenamiento de información es un proceso unidireccional irreversible.
- b. El *principio de indeterminación de Heisenberg*, implica un futuro terminista. En la mecánica cuántica, un estado, hoy, puede dar lugar a varios estados en el futuro, sin que sea posible *predecir* cuál de ellos se hará realidad.

Sea como fuere, resulta muy difícil arrancar del pensamiento económico la noción de *flujo temporal*, aun cuando, paradójicamente, ha sido una frecuente constante en las aportaciones con más permanencia en el cuerpo científico de la economía la presencia de la *reversibilidad*, con toda su carga de lo *atemporal*.

### III. LA CONCEPCIÓN DETERMINISTA

Desde hace muchos siglos, la *idea de temporalidad* ha ido imbuyendo las reflexiones de los pensadores, interesados en averiguar las regularidades del *funcionamiento del Cosmos*. Inicialmente, la *cosmología* se hallaba impregnada de la imaginación mitológica: se concebía la Tierra sostenida por un elefante, las estrellas colgando de cuerdas que se apagaban durante Elida, el dios Sol conduciendo un carruaje a través del espacio. A pesar de

ello, los filósofos griegos fueron capaces de *calcular* con gran precisión los *movimientos de los planetas*, aun cuando, desconocían las “leyes” que rigen los más elementales fenómenos de nuestro entorno. En este sentido, sabemos que Tales de Mileto (624-546 a.C.) pudo estimar, con reducido margen de error, la fecha de un eclipse de Sol. Sabemos que Pitágoras *introdujo las matemáticas*, aun considerando el significado mágico de los números, que Platón suponía que la Tierra era el centro del universo con unas esferas huecas girando su alrededor con una total regularidad. Que Eudoxo realizó una descripción matemática en la que los planetas estaban montados sobre veintiséis esferas concéntricas, cada una de las cuales giraba alrededor de un eje sostenido por la más próxima. Que, más tarde, Apolonio de Perga (260–200 a.C.) ideó la *Teoría de los epiciclos*, según la cual los planetas se movían en pequeños círculos cuyos centros giraban, a su vez, en círculos mayores. Pero el triunfo de la “matemática empírica” vino de la mano de Claudio Tolomeo (100–160 a.C.) con el perfeccionamiento de la concepción epicíclica, de tal manera que los epiciclos se ajustaban tanto a las observaciones reales, que su sistema tuvo vigencia durante quince siglos.

Estas han sido algunas de las efemérides que han jalonado el inicio de los “conocimientos sagrados” de las *leyes de la naturaleza*, que describen el universo a partir de equilibrios estables. Se puede decir, pues, que el concepto de *leyes de la naturaleza*, bien representada por la metáfora “un mundo que funciona como un reloj” se pierde en la noche de los tiempos y se ha hallado profundamente arraigada en el pensamiento y obras de nuestros investigadores. Tanto es así, que, casi 1.500 años después, Nicolás Copérnico (1473-1543) pone de manifiesto la existencia de un gran número de epiciclos idénticos y descubrió que podían ser eliminados si se consideraba que la Tierra giraba alrededor del Sol. Con ello surge la teoría heliocéntrica, reduciéndose el número de epiciclos; a treinta y uno. A pesar del devenir de los siglos, la idea de leyes de la naturaleza, con su carga mecanicista, continua omnipresente en el horizonte investigador.

Johannes Kepler (1571-1630) emprende una revisión de los trabajos de Copérnico y formula su tan conocida *primera ley*, seguida de otras dos leyes, que se desprenden de la primera. A pesar de su indudable originalidad, la teoría de Kepler, constituye, únicamente, una formalización descriptiva (expresa lo que hacen los planetas), no explicativa.

Galileo Galilei (1564-1642) reduce sus investigaciones a unas pocas magnitudes básicas: tiempo, distancia, velocidad, aceleración, momento, masa e inercia. En lugar de buscar el *por qué* de los fenómenos se interroga sobre *cómo* acontecen los fenómenos. En su *Diálogo sobre los dos principales sistemas*

*del mundo*, en donde expuso su *teoría heliocéntrica*, establece un *sistema de ley natural* para los objetos celestes y *otro sistema* para los objetos de la tierra. Se trata, en cierto modo, de la reivindicación de la *dualidad*.

Isaac Newton (1642-1727) cambió definitivamente esta percepción con su búsqueda *de un código de leyes* que gobernara el movimiento de un cuerpo bajo todas las combinaciones de fuerzas. Realizó su planteamiento desde una perspectiva *geométrica*. En efecto, en una representación gráfica, mediante un sistema de coordenadas, la *variación de la velocidad* de un cuerpo en relación con el tiempo adopta la forma de una curva. De manera *geométrica* se observa que la distancia total recorrida es igual al *área* comprendida debajo de la curva. Así mismo la velocidad es igual a la *pendiente de la tangente* de la curva que relaciona distancia y tiempo. EL problema consistía, entonces, en como calcular estas áreas y tangentes. El propio Newton, por una parte y Gottfried Leibniz (1646-1716), por otra, dieron la solución, dividiendo el tiempo en intervalos cada vez más pequeños. El área buscada era la resultante de sumar las áreas de un elevado número de estrechas bandas verticales. La pendiente de una *tangente* puede ser calculada considerando dos momentos del tiempo muy cercanos, haciendo que la diferencia entre ambos sea arbitrariamente muy pequeña. Sostenían que “en el límite” los errores de las sucesivas aproximaciones podían desaparecer. Estos métodos de cálculo se conocen, hoy, con las denominaciones *integración* y *diferenciación*. En los tres tomos su *Philosophiae Naturales Principia Matemática*, Newton redujo todo movimiento a tres leyes presentadas en el primer volumen. Las leyes de Newton son universales. La órbita de Júpiter y la trayectoria de una bala de cañón son dos manifestaciones de la misma ley. *El universo es, de nuevo, único*.

Leonhard Euler (1707-1783) prestó especial atención a la dinámica de fluidos y estableció entre otros un sistema de ecuaciones en *derivadas parciales* para describir el movimiento de un fluido sin fricciones. La mecánica se basaba total y explícitamente en el cálculo: hallar las ecuaciones diferenciales, primero, resolverlas, después. Modelazo el fluido como un medio continuo, infinitivamente divisible, y describió su movimiento mediante variables continuas que dependían de la velocidad, densidad y presión de las partículas del fluido. Una década antes Jean Le Ronda D’alembert (1717-1783) al analizar las vibraciones de una cuerda establecía una ecuación diferencial que resultó ser una ecuaciones derivadas parciales.

Joseph Louis Lagrange (1736-1813) reformula los hallazgos de Euler que cristalizan en dos importantes ideas: “el principio de la conservación de la energía” y “el establecimiento de las coordenadas generalizadas”.

- a. La mecánica clásica considera dos formas de *energía*; *la energía potencial y la energía cinética*. Cuando cae un cuerpo al descender se acelera (cambia energía potencial por energía cinética). La energía total no se altera, por lo que la suma de ambas energías es siempre la misma. De nuevo una Ley venía a engrosar el acervo de la ciencia.
- b. Las coordenadas son un artificio para *convertir la geometría en álgebra*, asociando un conjunto de números con cada punto. Existían varios sistemas de *coordenadas cualquiera*, hasta hallar las ecuaciones del movimiento en una forma que *no dependían* del sistema de coordenadas elegido.

William Rowan Hamilton (1805-1865), reformada de nuevo la dinámica, estableciendo que el estado de un sistema dinámico viene dado por un conjunto de *coordenadas de posición* (las de Lagrange) y un conjunto de *coordenadas de momento* (velocidades multiplicadas por la masa). La “energía total”, definida en términos de estas posiciones y momentos es una cantidad única, conocida hoy, como *hamiltoniano* del sistema.

Así, año tras año, decenio tras decenio, siglo tras otro, las distintas ramas de la ciencia trataron sus problemas mediante *leyes matemáticas*. Fue a lo largo del siglo XVIII e inicios del XIX cuando se establecieron la mayor parte de las más celebradas leyes de la física matemática clásica. Apareció, así, un paradigma de gran alcance: “la naturaleza es modelizable mediante ecuaciones diferenciales”. Pero si la modelización de los fenómenos físicos fue el gran éxito de este periodo, no lo fue tanto la resolución de las ecuaciones de los modelos. Como acostumbra a suceder, se hizo especial hincapié en los problemas con solución, relegando aquellos para los cuales esta no era conocida. La *creencia* en que el *universo seguía leyes conocidas* era general. Modelos que funcionan como un reloj, aceptación de un universo que funciona como un reloj. Modelos deterministas, aceptación de un universo determinista.

Se llega, así, al convencimiento de que *la naturaleza obedece a un conjunto de leyes*. Las leyes, supuestamente conocidas, vienen expresadas mediante ecuaciones diferenciales. “Dado al estado de un sistema en un instante dado, y conociendo las leyes, todo su movimiento futuro se halla determinado unívocamente.

#### IV. EL COMPORTAMIENTO GLOBAL

Aun cuando los hallazgos alcanzados a lo largo de tantos siglos han sido extraordinarios, muchos fenómenos continuaban sin explicación. La matemática podía calcular el movimiento de un planeta. Con un número limitado de

*leyes* se “podía” predecir el futuro del universo. Pero, en cambio, no existía explicación para fenómenos casi cotidianos en los cuales si bien no era posible describir los comportamientos de todos sus componentes individualmente sí era factible, en principio, hallar las regularidades en su *comportamiento global*. La matemática que permitiría una solución venía de la mano de la *Teoría de probabilidad*.

En los años ochenta del siglo XIX, *las ciencias sociales intentarían sustituir el experimento controlado* de la física. Tres investigadores merecen nuestro interés: Francis Galton (1822-1911) en antropología, Francis Isidro Edgeworth (1845-1926) en economía, y Karl Persson en filosofía. Así, pues, partiendo del estudio de los errores en astronomía, las ciencias sociales desarrollan y utilizan instrumentos matemáticos para *conseguir regularidades* en comportamientos aleatorios. Posteriormente, la física recupera estos hallazgos para explicar, matemáticamente, sistemas físicos complejos cuyos movimientos no seguían leyes deterministas.

Los científicos de finales del siglo XIX sabían, ya, que un sistema determinista puede comportarse de manera “aparentemente” aleatoria, pero eran conscientes de que la aleatoriedad era solo aparente y que aparecía en sistemas complejos. Estas explicaciones resultan igualmente válidas en el campo de las *ciencias sociales*. Los mecanismos que regulan los fenómenos de un subsistema económico, por ejemplo, se ven normalmente perturbados por influencias externas, muchas veces inesperadas e incontrolables. De esta manera se han perfilado *dos tipos de análisis*: el más antiguo, de gran precisión, basado en ecuaciones diferenciales capaces de *determinar* la evolución del universo y el entonces moderno, que trabaja con cantidades globales “promediadas” de sistemas complejos.

## V. LA BÚSQUEDA DE UNA ALTERNATIVA AL GEOMETRISMO

En su fundamental obra *El origen de las especies* publicada en 1859, Darwin combina dos elementos: *fluctuaciones e irreversibilidad*. En efecto, sostiene que las *fluctuaciones* en las especies biológicas gracias a la selección del medio, dan lugar a una evolución biológica *irreversible*. De la asociación entre *fluctuaciones* (que asimila a la idea de azar, diríamos nosotros incertidumbre) e *irreversibilidad* tiene lugar una *autoorganización* de sistemas con una creciente complejidad.

Por su parte, Clausius formula, en 1865, la *Ley de aumento de la entropía*, con la correspondiente división entre procesos *reversibles e irreversibles*. Esta distinción se hace explícita en la *segunda Ley* que postula la *existencia*

de una función, la entropía, la cual, en un sistema aislado, aumenta cuando existen procesos irreversibles y se mantiene constante en presencia de procesos reversibles. Por lo tanto, la entropía alcanza un valor máximo cuando el sistema llega al equilibrio y acaba el proceso irreversible.

La verdad es que, con independencia de la posición desde la cual tenga lugar el enfoque, el universo posee una estructura compleja. Sostiene Jacques Monod en su obra *El azar y la necesidad*, que la vida es un simple accidente en la historia de la naturaleza la cual, por un motivo no muy claro, es capaz de mantenerse. Es bien cierto que algunos fenómenos se pueden perfectamente describir mediante *ecuaciones deterministas* (movimiento de los planetas) pero, en cambio, otros comportan procesos inciertos o, en el mejor de los casos, *estocásticos* (desarrollos biológicos). Podrá suceder, que la vida, en lo que tiene de irreversibilidad, se hallara, también, inscrita en las *leyes generales* desde el momento primigenio del Big-Bang. Pero la ciencia, de tanto *buscar* las *generalidades*, las *simetrías* y las *leyes*, ha encontrado lo *mutable*, lo *temporal* y lo *complejo*. De ahí el empeño en la búsqueda de la manera de ordenar el desorden.

Los estudiosos de todos los ámbitos del conocimiento están observando procesos en los cuales tiene lugar la *transición del caos al orden*, es decir secuencias dirigidas a una *autoorganización*. La pregunta que se impone es como tiene lugar esta creación de estructuras, es decir esta *autoorganización*. Pues bien, dada la entropía de un sistema, si se perturba de tal manera que un estado permanece suficientemente cerca del equilibrio el sistema responde restableciendo la situación inicial. Existen, pues, mecanismos que lo hacen inmune a las perturbaciones. Se trata de un sistema estable. Pero si un estado es llevado suficientemente lejos del equilibrio, entra en una situación de inestabilidad en relación con la perturbación. Este punto se acostumbra a denominar punto de bifurcación. En él tienen lugar nuevas situaciones que pueden corresponder a comportamientos alejados del originario. En este contexto las ecuaciones deterministas no tienen utilidad para predecir *qué camino* será el elegido entre los existentes en la bifurcación. En muchas de estas bifurcaciones se produce una *ruptura de simetría*. Es el caso en que existe una solución “izquierda” y una solución “derecha”, pero que la naturaleza sólo elige una de las dos. Se puede decir, así, que existe simetría en las ecuaciones pero en las soluciones.

## VI. LA GEOMETRÍA FACIAL

Paúl Valéry pone de manifiesto que: “léesenos Dun Mot. determinismo est. Dun Memel depre de vague que Celje Dun Mort liberté ...”; “Le determinismo rigoureux est. profondément Dieste. Car ill adroit un die pour

apercevoir cat enchainment infinity complete ... De sortir quee le die pour la comprehension de cat universe". Un universo en el que las formas que vemos en la naturaleza no siempre guardan semejanza con las figuras geométricas tradicionales de la matemática. Recordemos que, en 1610 Galileo Galilei dijo que: "la matemática es el lenguaje de la naturaleza". Pero la verdad es que la geometría de la naturaleza resulta de difícil representación mediante las formas usuales de Euclides o por el cálculo diferencial. Su escaso orden la convierten en "caótica". Adoptamos así, el término acuñado por Norbert Wiener, cuando quería expresar una forma extrema de desorden.

Benoit Mandelbrot en su obra *Te Fractal Geometría Of. Sature* señala que las nubes no son esferas, las montañas no son círculos y la corteza de un árbol no es lisa. Con esta idea desarrolla una nueva matemática capaz de *describir y estudiar la estructura irregular de los objetos naturales*. Acuñó un nombre, *fractales*, para designar estas nuevas formas geométricas.

Los fractales, igual que sucede con el *caos*, se asientan sobre la *estructura de la irregularidad*. En las dos, la imaginación geométrica adquiere importancia fundamenta. Ahora bien, si los *fractales* domina la geometría, en el caos esta se halla supeditada a la dinámica. *Los fractales proporcionan un nuevo lenguaje susceptible de describir la forma del caos*: "La geometría fractal se caracteriza por dos elecciones: la elección de problemas en el seno del caos de la naturaleza ... y la elección de herramientas en el seno de las matemáticas... Estas dos elecciones han creado algo nuevo entre el dominio del caos incontrolado y el orden excesivo de Euclides, hay a partir de ahora una nueva zona del orden fractal.

En la geometría convencional *un punto* o un número infinito de puntos son figuras de dimensión *cero*, una *recta* o una curva *euclídeas* constituyen figuras de dimensión *cero*, una *recta* o una curva *euclídeas* constituyen figuras de dimensión *uno*, un *plano* o una superficie de las habituales son figuras de dimensión *dos*, un *cubo* tiene una dimensión *tres* ... Fue gracias a la propuesta de Hausdorff en 1919, que se han podido considerar algunas *figuras ideales* cuya dimensión no es un entero sino una fracción o también un número irracional. La *dimensión fractal* mide el grado de irregularidad e interrupción de un objeto fractal.

Ahora bien, también en la *realidad* existen objetos específicos cuya *dimensión física efectiva* posee un valor no convencional. Esto nos lleva a prestar atención a la relación entre las idealizaciones matemáticas (figuras) y los datos y formas reales (objetos). Paralelamente, se puede aceptar que un *resultado numérico* depende de la relación entre objeto observado y sujeto observador. En otras

palabras, la dimensión física tiene un componente de subjetividad y depende del grado de resolución. Un ejemplo presentado por Mandelbrot puede ser esclarecedor: “un ovillo de 10 cm. de diámetro, hecho con hilo de 1 Mm. de sección tiene varias dimensiones efectivas distintas. Para un grado de resolución de 10 metros es un punto, y por tanto una figura de dimensión cero; para el grado de resolución de 10 Mm. es un conjunto de hilos, y tiene por consiguiente dimensión uno; para el grado de resolución de 0,1 Mm. cada hilo se convierte en una especie de columna y el conjunto vuelve a ser de tres dimensiones; (...) y así sucesivamente el valor de la dimensión no para de dar saltos.

También nosotros, en el intento de explicar los fenómenos económicos y financieros introducimos escalas de medidas distintas según la “dimensión” del elemento estudiado. No existen grandes problemas para el análisis de aquellos fenómenos que comprenden un rango reducido de escalas, pero las dificultades aumentan cuando es esencial un gran rango.

Volviendo al ámbito de las matemáticas se observa que las formas geométricas tradicionales (triángulo, cuadrado, círculo, esfera, cilindro) pierden su estructura cuando son ampliadas (un círculo se convierte en una línea recta monótona cuando es observado a una escala suficientemente grande; para un diminuto ser humano la Tierra es lisa). El término *fractal* describe *un tipo de objeto geométrico que sigue manifestando una estructura detallada en un gran rango de escalas*.

En principio, *los objetos naturales*, tanto aquellos que nos son familiares (como la luna, la tierra, los mares), como aquellos que nos lo son menos, (como una distribución de errores en una recopilación estadística), son *sistemas*, dado que se hallan formados por partes diferenciadas en conexión entre sí. Pues bien, la *dimensión fractal* pone en evidencia un aspecto de estas leyes de conexión.

Entre los objetos familiares se acostumbra a citar como ejemplo, un *trozo de costa marítima*, de la que se desea medir su *longitud efectiva*. Esta longitud es siempre igual o mayor a la distancia en línea recta entre los dos extremos objeto de la medida. Esta es una posición límite. En el otro límite se halla la hipótesis de una costa extremadamente sinuosa, para lo cual su longitud podría ser tan grande que se acercara al infinito. Cuando se quieren comparar las diferentes formas de la costa nos veremos impulsados a utilizar la noción de *dimensión fractal*. Por ello, una línea costera es un buen ejemplo de fractal, (cuando una zona costera reflejada en un mapa se amplía con otro mapa más detallado se observa la misma estructura general.

En todas las obras sobre la materia se cita como fractal matemático, la *curva del copo de nieve* de Helge Von Koch (1904). En ella, lo que en la

línea costera serían bahías y cabos, aquí son triángulos equiláteros, que van haciéndose más pequeños. En ambos casos aparece una importante característica: su *comportamiento de escala* (la misma estructura en todas las escalas).

Resulta relativamente abordable una medida numérica del *grado de rugosidad de un fractal*. Inicialmente se denominó *dimensión de Hausdorff-Besicovitch*, en honor a los dos matemáticos que la inventaron. Hoy se conoce como *dimensión fractal*. No es prácticamente posible realizar medidas cuantitativas de *todos* los detalles de un fractal, pero, en cambio, sí lo es obtener una medida del *grado de su rugosidad*.

Como hemos señalado, en el campo de los fractales, la *dimensión no debe ser* obligatoriamente un número entero. Así, la *dimensión fractal* de una línea costera tiene, normalmente un valor entre 1,15 y 1,25 y *la curva del copo de nieve de Koch* se acerca a 1,26. Por tanto, se las puede considerar prácticamente igual de rugosas (la línea costera ocupa más espacio que una curva uniforme y menos espacio que una superficie, por lo que no puede extrañar que su *dimensión* se halle entre 1 y 2). En definitiva, se trata de “establecer el *volumen adimensional* de una figura, siendo *d* un número cualquiera, sea o no entero”.

La diferencia geométrica entre *figuras uniformes* (círculos, esferas...) y *figuras rugosas* (fractales), se corresponde con la diferencia entre los *tractores de la matemática tradicional* y los *tractores del caos*. Por ello, los fractales pueden ser considerados, alternativamente:

- a. Como una *herramienta* descriptiva para el estudio de procesos y formas irregulares.
- b. Como una *consecuencia* matemática de una dinámica subyacente.

Las posibilidades de *utilización de los fractales* son amplias. Los fractales ponen en evidencia una nueva visión de la naturaleza, que, ahora, es apta para ser modelizada matemáticamente. Las posibilidades de representar de manera geométrica fenómenos económicos irregulares, abren las puertas de par en par al empleo fractal en el ámbito de las ciencias sociales. La preocupación por las fluctuaciones en las bolsas ¿no podría estimular el estudio de esta nueva *geometría de la Naturaleza* por parte de economistas y especialistas en gestión.

## VII. NACIMIENTO Y DESARROLLO DE UNA TEORÍA DE LA INCERTIDUMBRE

Resulta impensable no aceptar que los sistemas son muy sensibles a las variaciones de las condiciones iniciales o de las existentes en algún instante

de actividad. En otros términos, se concibe así que cuando una *perturbación* excede de un cierto nivel., las desviaciones futuras llevan a un proceso no controlable por el propio sistema, produciéndose el nacimiento de insospechados nuevos fenómenos. Sólo con este convencimiento es posible vislumbrar cómo hace cuatro mil millones de años pudo aparecer una célula viva de un vulgar caldo de aminoácidos. La complejidad de estos sistemas hace inviable su comprensión y explicación únicamente mediante leyes deterministas, sustentadas y desarrolladas con ecuaciones lineales. Ha hecho falta, y hará falta todavía, una gran dosis de imaginación para romper con los lazos que nos atenazan con el pasado, colocando en su lugar ecuaciones diferenciales “no lineales”, portadoras de un gran arsenal descriptivo de situaciones inciertas. Compiten, cohabitan o colaboran en esta tarea enfoques, de ayer o de hoy. Entre ellos destaca la teoría de los subconjuntos borrosos, cuyo epicentro se halla una querrela que data de más de dos mil años.

En efecto, Aristóteles (384-322 A.c.)<sup>9</sup> señalaba: “ una simple afirmación es la primera especie de lo que llamamos proposiciones simples, y una simple negación es la segunda clase de ellas ... Respecto de las cosas presentes o pasadas, las proposiciones, sean positivas o negativas, son por necesidad verdaderas o falsas. Y de las proposiciones que se oponen contradictoriamente debe ser una verdadera y una falsa” En esta misma línea se situaba el pensamiento de *los estoicos* a una de cuyas figuras centrales, Crispo de Solí (281-208), se le atribuye la formulación del llamado “principio del tercio excluso” (una proposición o es verdadera o es falsa). Los *epicúreos* contestaron con vigor este principio, señalando que sólo es aceptable si no se da una tercera posibilidad *tertium non Satur*(tercio excluso). A pesar de su materialismo, Epicuro creía en la libertad de la voluntad, sugiriendo incluso, que los átomos son libres y se mueven, de vez en cuando con total espontaneidad. Esta idea tiene evidentes connotaciones con el *principio de incertidumbre* ya mencionado.

Tienen que transcurrir veintidós siglos para que Lukasiewicz, retomando la idea de epicúreos, señalara que existen proposiciones que no son ni verdaderas ni falsas, sino *indeterminadas*. Esto le permite enunciar su “principio de valencia” (cada proposición tiene un valor de verdad). Asignó, inicialmente, tres valores de verdad: verdadero (1), falso (0), e indeterminado (0,5), generalizando, luego, a  $n$  valores, para  $n$  igual o mayor que 2. Se inicia, así, el camino para las llamadas lógicas multivalentes.

Con ocasión del Congreso Internacional SIGEF de Buenos Aires, se acorcho intentar asentar la posición epicúrea en las nuevas coordenadas surgidas del hallazgo de Sade, enunciando el “principio de la simultaneidad gradual” (toda proposición puede ser a la vez verdadera y falsa, a condición de asignar un

grado a su verdad y un grado a su falsedad). Antes y después, un buen número de científicos han ido colocando, piedra tras piedra, los cimientos de lo que puede ser un nuevo edificio del saber. Desde esta perspectiva del conocimiento, algunos nombres jalonan este ya fructífero camino: Rosenfeld, en 1971, estudia las relaciones borrosas. De Luca y Termini, en 1972, acuñan el concepto de entropía no probabilística. Kaufmann, en 1973, incorpora el operador de convolución Yasmin en las ecuaciones de relaciones borrosas. Sueno, en 1977, se introduce en el ámbito de las mediciones borrosas. Zimmermann, en 1978, profundiza en el desarrollo de las operaciones con subconjuntos borrosos. Numerosos grupos de investigación pertenecientes a universidades de los cinco continentes están trabajando para avanzar en este camino en las distintas ramas del árbol de la ciencia.

## VIII. LA INTERPRETACIÓN DE LAS REALIDADES ACTUALES

El objetivo de los puntos desarrollados con anterioridad quiere ser una reflexión sobre el futuro de la investigación científica, técnica, y económica. Y se ha hecho inmersos en una situación económico-financiera caracterizada por una depresión que contacta dificultad está soportando nuestra sociedad. Esta circunstancia lleva a preguntarnos ¿qué hemos hecho mal? Y las respuestas más frecuentes giran en torno a que se han producido fallos en la estructura y funcionamiento de sistemas financieros internacionales; deficiencias en la gestión de los recursos naturales; inadecuación en la actividad productiva; etc. Pero ¿esto es todo? ¿no tenemos los intelectuales, hombres y mujeres de las ciencias, las técnicas y las letras, responsabilidad alguna?, ¿no nos habremos conformado demasiado en recrearnos con aquello que hemos recibido de nuestros maestros? Finalmente, ¿servirá de lección la grave situación a la que se ha llegado para replantearse los más profundos fundamentos sobre los que se ha asentado la investigación económica? Creo que ha llegado el momento del *cambio*. De un cambio profundo, capaz de hacer frente a los nuevos desafíos de unos sistemas sociales complejos y mundializados. He intentado en estas reflexiones confrontar las dos tendencias (continuista y rupturistas) que van a desarrollarse en el futuro, esbozando tímidamente algunos posibles caminos.

Prácticamente todos los ciudadanos de los Estados desarrollados viven pendientes de cuatro problemas, principalmente: hasta que punto van a continuar las caóticas oscilaciones del precio del petróleo; cuál es el alcance de la demanda de productos agrícolas (principalmente cereales); a que nivel de endeudamiento obligarán las aventuras de alto riesgo asumidas; y, finalmente, cuál es el verdadero alcance del “problema financiero”. Parece que de *manera precisa* todavía nadie puede dar una respuesta concluyente.

Un primer ejemplo nos fue dado hace tres años en la reunión de jóvenes economistas de más de cincuenta países con catorce premios Nóbel de economía, que tuvo lugar durante los días 21, 22 y 23 de agosto de 2008 en la localidad alemana de Landau, a orillas del Lago Constanza. Todos ellos coincidieron en una cosa: la *complejidad* de la situación económica actual. Es curioso constatar cómo se reivindica desde casi todos los sectores y desde todas las ideologías la palabra *complejidad*, cuando quienes la emplean ahora nunca habían utilizado los elementos teóricos y técnicos necesarios para su tratamiento. Algunas frases, entresacadas de sus intervenciones pueden ser ilustrativas. Así, Mirón Scholes (premio Nóbel en 1977) señaló que “la crisis no ha finalizado y no podría estimar con exactitud cuando y cómo acabará...” para sentenciar que “las instituciones necesitarán aún continuar recortando los préstamos y afianzar los balances con la venta de activos, lo que repercutirá en la reducción de la financiación de las actividades de las empresas”. Por su parte Robert Solo (premio Nóbel en 1984) se limitó, ya entonces, a unos pesimistas augurios al indicar que si bien no sabemos todavía si la recesión será global, debemos prepararnos para, en el mejor de los casos, aguantar un crecimiento débil” Cuando Daniel MacFadden (premio Nóbel en 2000) hizo uso de la palabra afirmó que “los problemas actuales provocados hace un año por la elevada morosidad de las “hipotecas supprime” en EE.UU. seguirá golpeando la actividad financiera y consecuentemente la económica con la aparición de insolvencias y quiebras de empresas”. Esbozó una propuesta de creación de una entidad que supervisaría y certificaría los nuevos instrumentos financieros antes de salir al mercado, con objeto de evitar las burbujas especulativas y su efecto acumulativo cuando éstas estallan.

En su intervención, Joseph Stiglitz (premio Nóbel en 2001) fue muy crítico con los bancos y los reguladores al acusar de “fallo espectacular” la actuación de los cerebros de Lah economía por no advertir el riesgo al que iba abocada la actitud de los actores financieros. Pero no llegó a aportar opiniones precisas sobre el alcance de la recesión y las medidas para paliarla. Y, para terminar con esta muestra del rosario de opiniones de los grandes cerebros de la ciencia económica, señalamos que, siempre en su papel, Mohamed Yunus (premio Nóbel en 2006), creador del Banco Graneen e incentivador del desarrollo económico-social, hizo votos para que, “en la medida que nadie desea volver a soportar una situación mundial como la actual, este problema desaparezca de manera apreciable”. Esta frase, que es más un deseo y/o una esperanzare un dictamen sobre una situación calificada de grave, constituye la guinda de un sabroso pastel que resulta muy difícil de avalar y más difícil de digerir, por parte de los agentes económicos. Por desgracia, en términos generales, los augurios y opiniones de los expertos se han ido cumpliendo estos años, es decir finales del año 2011.

Sin ánimo de crítica alguna, parece razonable preguntarnos si en la citada reunión de Landau, estos ilustres economistas acertaron realmente en su papel de altos científicos de la economía o simplemente se limitaron a realizar unos comentarios que están en la boca o por lo menos en el pensamiento de un ciudadano ilustrado que se halla preocupado por el futuro económico y financiero inmediato de su empresa o de su familia. Las importantes, importantísimas, aportaciones que realizaron en su momento estos pensadores y que les valieron, a justo título, el más alto galardón comedido a un economista parece no son susceptibles de aportar, cuando menos, una vía que permita mitigar el dolor de quienes, en última instancia son los que sufren las consecuencias últimas de los grandes errores de los rectórese la actividad económico-financiera. Nos referimos a los jóvenes que no pueden formar una familia por falta de vivienda, a la dramática situación de los trabajadores que se están viendo privados de su empleo; a los inmigrantes que empezaban a ver realizado su sueño ahora truncado, a los pequeños comerciantes abocados al cierre de su negocio familiar... y a tantos otros que confiando en promesas de programa se verán sumidos a la monótona vida de un futuro sin la esperanza de salir del círculo cerrado (capa social) donde fueron depositados a su nacimiento.

Pensamos que, quizás, la esperanza de conseguir un camino hacia la solución de los problemas actuales no consiste en girar la vista atrás sacudiendo al árbol de los grandes remedios pretéritos, sino mirando hacia delante buscando en las nuevas aventuras de la ciencia económica los resquicios por donde filtrar aquellos elementos teóricos y técnicos susceptibles de tratar adecuadamente los sistemas económicos, cuya *complejidad* ha provocado los importantes desequilibrios que hoy estamos viviendo.

## IX. LOS NUEVOS HORIZONTES DE LA CIENCIA ECONÓMICA

En este trabajo me he limitado a esbozar unas pinceladas de los caminos ya emprendidos y de las nuevas vías que se perciben en el horizonte. Se han citado, a este respecto, algunas nuevas líneas de investigación tales como la teoría de los subconjuntos borrosos, la teoría del caos y de los fractales, entre otras. Se trata, es necesario reconocerlo, de esfuerzos aislados inicialmente, sin aparente conexión alguna. Sin embargo, tienen en común algo tan importante como es el intento de escapar de la linealidad buscando desentrañar las posibles leyes que subyacen en el comportamiento de los fenómenos complejos. Del estudio de estos elementos aparece un *nueva razón* para explicar unas *realidades* que escapan a la rigidez de los sistemas basados en la lógica booleanas.

Con los esquemas formales comúnmente utilizados nos va a ser posible, ya, hacer frente a los importantes retos que se deben afrontar cuando se desean

colmar las aspiraciones de los ciudadanos. Basta una muestra para corroborar cuanto se comenta. Es necesario: conseguir unas estructuras productivas capaces de competir en un contexto económico mundializado; crear instrumentos eficaces para erradicar la miseria de tantas zonas del globo; abordar la Reforma de la Política Agraria Común teniendo en cuenta las posibilidades productivas del Tercer Mundo y las crecientes necesidades de productos alimenticios; establecer una política y unas estrategias de abastecimiento energético para evitarlas excesivas fluctuaciones del precio del petróleo; hacer efectivas las medidas necesarias para una verdadera recuperación y preservación del medio ambiente; tomar iniciativas para la creación de unas nuevas reglas del juego en los mercados financieros y dificultar así, la aparición de “burbujas” que al *entropostallar* contaminan el orden económico mundial. Nos preguntamos, finalmente, si la esperada refundación del capitalismo nos llevará a un *nuevo sistema multipolar* en detrimento de la actual potencialidad financiera americana.

Consideramos que los últimos episodios que han nublado el panorama económico-financiero no son otra cosa que un ejemplo más del continuo “proceso disipativo” al que se ha visto sometido el sistema económico-financiero internacional. Justificaremos la calificación de *disipativo* recurriendo a ILSA Prigogine (1917-2003) cuando diferencia las *estructuras de equilibrio* y las *estructuras disipativas*. Una estructura de equilibrio no requiere flujo exterior para su mantenimiento, por lo que le esta vedada toda actividad generadora de *entropía*. Así, una estructura disipativa no puede existir el margen del mundo exterior, dado que sin las aportaciones externas que mantienen la disipación ésta desaparece y el sistema alcanza el estado de equilibrio anterior. La situación por la que estamos atravesando ¿no podría ser un revelador ejemplo? Frente a la estructura financiera a la que nos habíamos acostumbrado, la cual funcionaba por sus propios mecanismos internos y, por Antonio eran necesarios flujos exteriores para su mantenimiento (estaba vedada toda actividad generadora de entropía), los últimos acontecimientos nos han obligado, casi de repente, a cohabitar con estructuras disipativas incapaces de existir cuando aparecen elementos “externos” que perturban el normal funcionamiento de los órganos internos, no creados inicialmente para soportarlos. Nos damos cuenta, entonces, que tales estructuras no han podido sobrevivir y serán necesarias unas “aportaciones” exteriores para mantener la disipación sustituyendo el sistema que ha degenerado de tal manera que se ha convertido en un cuerpo sin vida, por una nueva estructura, es decir, por una nueva “especie biológica”.

La solución no consiste, pues, en recurrir al más estricto de los clasicismos: el *refugio o equilibrios precedentes*, porque, entonces se provoca, en el mejor de los casos, un proceso de desaceleración cuando no una presión recesiva. Las

consecuencias coinciden con los del caso en el que los actores económicos se muestran inactivos. Este proceso va normalmente acompañado de una inestabilidad en cuya proximidad son la intensidad y amplitud de las fluctuaciones las que van a determinar cuál es el estado que prevalecerá entre los varios que el sistema puede adoptar en el futuro. Este es, a nuestro entender, el esquema que explica la aparición de fenómenos irreversibles. *La idea evolucionista* aparece, una vez más, para dar razón de unos procesos que son, en esencia, el resultado de la asociación entre fluctuaciones e irreversibilidad. De ellos, surge una autoorganización de los sistemas económicos-financieros en los que se advierte una creciente complejidad. Estas reflexiones formales explican, creemos, la situación real en la que se encuentra la arquitectura económica-financiera internacional. Los responsables de los Estados más poderosos hablan de cambiar las reglas de juego de los sistemas financieros, las cuales, a raíz del desastre aparecido, se han mostrado incapaces de dar la respuesta que los ciudadanos y las instituciones públicas y privadas reclaman. Nos dirigimos, así, a un nuevo proceso de *autoorganización de complejidades*.

## X. CONCLUSIÓN

Es bien cierto, y por ello nos alegramos mucho de Elo, que los esfuerzos realizados por los científicos a lo largo de los siglos para adaptar el conocimiento a las realidades han sido altamente recompensados. Pero la implacable fuerza de los acontecimientos obliga a la investigación en general y a la investigación económico-financiera en particular a buscar nuevos caminos. Porque las realidades necesitadas de adecuación no se hallan situadas en un *mundo ideal*, sino en el crudo *mundo que nos rodea*.

Somos conscientes de las dificultades de incorporar los esquemas evolutivos e irreversibles en el quehacer cotidiano de los investigadores, pero es necesario realizar un esfuerzo para conseguirlo, porque la utilización del *mecanicismo* en el ámbito económico-financiero ha dado como resultado un *determinismo*, en el que la noción de libertad ha sido una palabra desprovista de sentido, cuando hemos tratado de buscar respuestas a las preguntas esenciales para razonar y explicar las complejidades.

Paúl Valéry con la vaguedad del determinismo Karl Popper con su contradicción interior entre causalidad y capacidad de libre elección, ponen de manifiesto un problema mayor que William James denominó “dilema del determinismo”. Cuando este dilema se traspasa a la ciencia económica nos damos cuenta de que está en juego ni más ni menos que *nuestra relación con la sociedad*, lo que en el contexto económico-financiera están ya escritas o seremos capaces de influir en su construcción.

Hurgando en los archivos de la ciencia y la cultura más sublimes comprobamos que si para una gran cantidad de físicos, entre los que se encuentra Einstein, el problema del *determinismo* se halla resuelto, para los filósofos continúa siendo un interrogante. Así Henri Bergson plantea el interrogante de si la existencia del tiempo no probaría que hay *indeterminación* en las cosas. De esta manera, para Bergson realismo e indeterminismo caminan juntos. También Karl Popper considera que “el determinismo es el obstáculo más sólido y más serio en el camino de una explicación y de una apología de la libertad, creatividad y responsabilidad humanas”. La ciencia caería en una contradicción si optara por una concepción *determinista* cuando nos hallamos involucrados en la tarea de desarrollar una sociedad *libre*.

Quizás nuestra tarea, como espíritus hijos de la matización y la sutilidad, aspectos tan arraigados en los pueblos de la vieja Europa, deba consistir en la lucha frente al *determinismo* y la *predestinación*, ayudando a construir elementos teóricos portadores de *libertad*. Cuando se quieren diseñar nuevos cauces para la investigación resulta imprescindible establecer principios sólidos. Siempre ha sido así, y si “el principio del tercio excluso” ha permitido tan altas cotas en el *mecanicismo* ¿porqué no asirnos con lazos lógicos al nuevo “principio de simultaneidad gradual” dando vida a una actividad científica y cultural acorde con un pensamiento *evolucionista*? Ya Ramón Llull intentó, en una de sus sabias reflexiones, establecer encadenamientos de relaciones de incidencia. Nuestra “teoría de los efectos olvidados” es otro ensayo en la búsqueda de *todas* las relaciones de causa-efecto de primera y segunda generación en base a un *criterio humanista* en lugar del habitual criterio mecanicista. Esto se refleja con la utilización del operador de convolución Yasmin, aquel que se corresponde con lo que los juristas llaman actuar con la “prudencia de un buen padre de familia”. Pero, evidentemente no es suficiente. Es preciso unir esfuerzos para dar solución a las inarmonías existentes y facilitar investigaciones comunes portadoras de una nueva luz para la ciencia y la cultura.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

- ARISTÓTELES, *Obras. Lógica. Déla expresión o interpretación*, Ed. Aguilar, Barcelona 1977.
- BERGSON, H., “Le posible et le Rel”, en *Oéubres*, PUF, Edition Dun Centén aire, Paris 1970.
- BLANC, M., *Les Her tiers de Darwin*, Editions du Seoul, París 1990.

- CLARK, R.W., “Einstein, the Live and Times”, *Avon Books*, 1971.
- GARDNER, M., *The ambidextrous Universe*”, Charles Scribner’s sons, Nueva York 1979.
- JAMES, W., “The Dilemma of Determinism”, en *The Will to believe*, Dover, Nueva York 1996.
- KAUFMANN, A., *Nuevas técnicas para la dirección estratégica*, Ed. Universita de Barcelona, Barcelona 2009.
- MAY, R., *Modela Ecosistema*, Princeton Universita Prez, Princeton 2003.
- LERROUX, F., *L’conomie du XXI éme siecle*, P.U.F., París 2010.
- POPPER, K., *L’univers irrésolu. Plaidoyer pour l’indéterminisme*, Hermann, París 1994.
- PRICOIGNE, I., *From Being to Becoming*, W. H. freeman, San Francisco 2007.
- PRICOIGNE, I., *El fin de las certidumbres*, Ed. Taurus, Buenos Aires 2010.
- SCHLANGER, J., *Les métaphores de l’organisme*, Vrin, París 2007.
- WEIMBERG, S., *The first three Minutes*, Basic Books Inc., New York 2007.
- ZIMMERMANN, H. J., “Results of empirical studies in fuzzy set theory”, en Klir, G. J.: *Applied general Systems Rechearch*. Plenum Press. New York 2008.