

## NUEVOS CRITERIOS MULTIDISCIPLINARES PARA EVALUAR LOS MERCADOS FINANCIEROS: UN RESUMEN ESQUEMÁTICO

*Salvador Rojí Ferrari*

*Profesor de Finanzas. Universidad Complutense de Madrid*

### 1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XX se han desarrollado tres grandes teorías para tener una mejor comprensión de los hechos financieros: las teorías de carteras/valoración de activos, la teoría de opciones, y las de Miller & Modigliani sobre la estructura del pasivo y dividendos. Estos modelos normativos se basan en la eficiencia de los mercados y en la racionalidad de los agentes que intentan maximizar su utilidad esperada. También se cimientan en la consideración de que los precios se fijan en una especie de subasta walrasiana donde se igualan precios de compra y venta. Representan los pilares de las finanzas tal como se conciben en el mundo académico y, hasta cierto punto, en el mundo financiero y mercados de capitales. En la última década del siglo pasado, sin embargo, se colaron otras teorías y modelos en el Olimpo de las ideas financieras. Hoy en día, se encuentran en la antesala de su aceptación, académica, profesional, y popular.

Estas tres grandes teorías “clásicas” financieras de la segunda mitad del siglo pasado predicen que, al mejorar la información, los precios deberían de ser menos volátiles en relación a su valor. Sin embargo, al incrementarse el poder de la información y la transmisión de éstas a través de la tecnología, los mercados se han hecho más volátiles, no menos. También, existen muchos estudios que avalan o rechazan la supuesta aleatoriedad de los mercados financieros y la distribución normal en forma de campana de Gauss de los rendimientos bursátiles, materias primas, y de las variaciones de tipos de cambio de divisas. Está ampliamente demostrado que, en realidad, los extremos de la campana son excesivamente abultados, dándose alteraciones en la probabilidad de altos cambios positivos y negativos, ajustándose mejor a las leyes potenciales que, como la propia distribución normal, forman un patrón común en la naturaleza. Tampoco la volatilidad se ajusta a la supuesta aleatoriedad de los mercados. Todo esto ha abierto el espacio de posibles estrategias de inversión, arbitraje, y análisis técnico, e incluso fundamental, y cuantitativo, siguiendo nuevas pautas de actuación.

Suponemos que usted estará familiarizado con el término de paseo aleatorio o “*random walk*”, pero ¿qué le parece el paseo aleatorio multifractal Bacry-Muzy-Delour? Es muy posible que no le interese demasiado, pero tal vez, si ha llegado hasta aquí en la lectura, al menos, tendrá una cierta curiosidad. Después de todo, algo esta relacionado con la eficiencia en los mercados y con la evolución de los precios de los activos financieros. Ante todo, y dado su espíritu práctico, seguramente se haga la siguiente pregunta: ¿Sirve para algo todo ese galimatías académico? Dependiendo de su grado de profesionalidad e interés, sí que debería de ir más allá de los descuentos de flujos de tesorería, y los múltiples tipo PER. Por ejemplo, ¿tienen las series temporales bursátiles algún nivel de memoria? ¿posee alguna estructura interna? ¿por qué la campana de Gauss tiene los extremos abultados? ¿por qué se dan explosiones de volatilidad intermitentes? ¿es cierto que la hipótesis de la eficiencia de los mercados es un mito surgido de teorías sobre equilibrio del siglo XIX?

Más concretamente, el famoso fondo de cobertura Long Term Capital Market, LTCM, gestionado por Scholes y Merton, premios Nóbel precisamente por haber desarrollado el modelo utilizado para gestionar riesgos, perdió, el 21 de agosto de 1998, 553 millones de dólares. Sin embargo, habían estimado que la pérdida máxima en un día era solo de \$35 millones. Tampoco hay

que ir 10 años atrás: los modelos matemáticos de control de riesgos no han podido evitar la debacle financiera a ambos lados del Atlántico en la que todavía nos encontramos. La mayoría de ellos daban probabilidades de uno entre miles de años de que ocurriese la debacle financiera, qué mala suerte y qué casualidad que haya ocurrido precisamente tan pronto.

Éste trabajo intenta presentar de una manera clara y concisa cuáles son estos nuevos modelos financieros surgidos en los últimos años, y engazarlos con los modelos de las llamadas Finanzas Modernas de los años 60 y 70. La intención es ofrecer al lector, al gestor de carteras, al inversor, y al público en general, nuevos criterios en su proceso de toma de decisiones financieras, tanto desde el lado de la compra como de la venta que enriquezcan su capacidad de comprensión del mercado bursátil.

A finales del siglo pasado, las finanzas conductuales, y la teoría caótica y de la complejidad abrieron nuevos campos de investigación llenando el espacio con cátedras, revistas especializadas, congresos, y debates. Esto generó discusiones académicas sobre la supuesta racionalidad de los agentes y, como consecuencia, se dudó de la eficiencia de los mercados como marco necesario para la aplicación de los modelos de valoración basados en la teoría de carteras y de opciones. Quien realmente empezó a dudar sobre el famoso paseo aleatorio que, se le supone, refleja las variaciones en los precios bursátiles fue Mandelbrot, a principios de los años 60. Descubrió que el precio del algodón en los mercados seguía, no la sempiterna ley de normalidad gaussiana, sino una ley potencial, cuya distribución de probabilidad tiene unos extremos excesivamente abultados. Su característica más importante es la invarianza de escala, es decir, al cambiar la dimensión por un factor, las leyes que gobiernan los objetos no cambian. También se la conoce como la autosimilitud fractal, según terminología de Mandelbrot. Su visión de los pilares de las finanzas modernas se resume en su idea de que están construidas sobre arena...

Ya en los albores del siglo XXI surgió una nueva disciplina, la Econofísica, desarrollada por investigadores ajenos al campo de las Finanzas, pues son en general, físicos o ingenieros. La Econofísica está relacionada con las finanzas cuantitativas, computacionales, o ingeniería financiera. Sin embargo, al estar basadas principalmente en teorías y metodologías propias de campos como la Mecánica Estadística, su carácter es menos práctico que el de las finanzas cuantitativas, más interesadas en la gestión del riesgo y la generación de modelos e instrumentos financieros. Eso no quita que hayan enriquecido a la disciplina financiera con nuevos enfoques y modelos. Muy al contrario, han abierto un campo nuevo que se engarza con las propuestas de los modelos basados en la teoría de la complejidad y otras teorías, como la de redes, o con modelos experimentales basados en los agentes. Estas teorías son interdisciplinarias con algunos puntos en común, aunque, se hace necesario una esquematización y limitación para aclarar y formalizar cuáles son sus propuestas.

Al estudiar los mercados financieros, ya sea el bursátil, materias primas, o tipo de cambio, debemos de analizar todas las perspectivas abiertas que pueden describir su propia dinámica. De esta maneja, podemos entender cómo se transmite la información, y cómo se interpreta, gestiona e incorpora en el proceso de toma de decisiones con el fin último de obtener una rentabilidad superior que la esperada, es decir, alfa, en terminología anglosajona. Estas perspectivas se pueden clasificar siguiendo diferentes aproximaciones de análisis de los mercados a través de algunas disciplinas. El cuadro adjunto muestra a las más importantes junto a sus características clave y los autores relevantes, aunque, debido a la esquematización, algunas disciplinas se solapan.

Describimos los modelos siguiendo una línea de argumentación que los divide en dos grandes bloques, dependiendo de la consideración del agente partícipe en el mercado financiero. Un bloque viene representado por un agente homogéneo, como si fuesen partículas de gas, y el otro bloque se representa con una amplia variedad de tipos de agentes heterogéneos con diferentes utilidades y motivaciones.

## **2. MODELOS DE SIMULACIÓN DE MERCADOS FINANCIEROS BASADOS EN AGENTES HOMOGÉNEOS**

Los modelos que recogen este tipo de agentes están basados, por un lado, en las finanzas modernas, la teoría de las expectativas racionales, y la teoría del mercado eficiente, ya sobradamente estudiadas. Los otros referentes son la Econofísica, la naturaleza multifractal de Mandelbrot, y la teoría de redes. Incluso podríamos considerar a los agentes de las finanzas conductistas dentro de este bloque, ya que sus defensores hablan más de desviaciones dentro de la conducta esperada racional que de otra cosa.

Los predecesores de la formalización matemática de la economía, como Walras y Pareto utilizaron, formalizaron, y propagaron los métodos de la Física en la ciencia económica, por lo que no debe de extrañar un bienvenido intrusismo con el nombre de Econofísica. Esta nueva disciplina considera que los sistemas económicos y financieros son sistemas abiertos en los que sus elementos se relacionan siguiendo pautas de retroalimentación no lineal, por lo que es posible desarrollar modelos y verificar su poder de predicción o, al menos, intentar explicar ciertos fenómenos que se dan en series temporales financieras. Éstos métodos quedan enmarcados en lo que se ha venido a llamar mecánica estadística de los mercados financieros o, según sus siglas en inglés, SMFM , donde el elemento base a investigar es un inversor representativo medio, como si fuera una partícula de gas. Sus modelos realmente tienen nombres casi tan exóticos como algunos instrumentos de las opciones financieras: enfriamiento simulado, vidrios de espín, percolación, isis, caóticos, etc.

### **2.1. La teoría de redes**

En los últimos años se ha incrementado el interés general por el estudio de las propiedades topológicas de las redes sociales. Así, los sistemas económicos no existirían si no existiesen interacciones entre empleados en las empresas, entre ellas mismas, y entre mercados, formando una red muy compleja de vínculos en diferentes dimensiones. Como en el mundo biológico, las redes económicas están ordenadas en jerarquías de redes dentro de otras redes. Es en cierta medida, la multifractalidad de la que habla Mandelbrot. La teoría de redes lleva bastantes décadas en desarrollo, y muy recientemente, las propiedades de las redes han empezado a aplicarse a la economía y a los mercados, incluidos los financieros. Se ha descubierto que los vínculos o flechas que conectan los nodos o elementos de la red poseen unas propiedades estadísticas desconocidas hasta hace poco.

Su aplicación en las finanzas se ha ampliado recientemente al estudio de la evolución de las correlaciones entre valores bursátiles, el proceso de difusión y dispersión de la información y de la tecnología financiera, y a las redes sociales entre miembros de los consejos de administración de las empresas.

En concreto, se está utilizando la teoría de las matrices aleatorias y la teoría de redes en el análisis de las correlaciones entre rentabilidades bursátiles en vez de utilizar la metodología clásica de los componentes principales. Este tipo de análisis es de gran interés en la formación de grupos de títulos para su utilización en la gestión de cartera. Así, se ha observado desde hace mucho tiempo que se da un alto nivel de correlación cruzada entre un conjunto de títulos bursátiles que evolucionan sincrónicamente. Estas conexiones, forman enormes matrices que configuran una tupida red de (co)relaciones dinámicas, y se puede estudiar tanto la formación de estructuras jerárquicas como su evolución. Esta red se simplifica al eliminar conexiones débiles a partir de un determinado umbral mínimo u otro mecanismo de filtración.

<b>Disciplina</b>	<b>Características principales</b>	<b>Autores</b>
Finanzas Modernas I	Modelos basados en las expectativas racionales Mercados eficientes Distribución normal de rentabilidades (campana de Gauss)	Markowitz, H. Sharpe, W. Miller & Modigliani Black & Scholes Fama, E.
Finanzas Modernas II	Memoria a largo plazo en rentabilidad y volatilidad Extremos gruesos en la campana de Gauss Reversión de la media	Lo, A. Granger & Engle Levy & Levy & Solomon
Geometría Fractal	Autosimilitud e invarianza de escala Mercados turbulentos Disparidad de inversores Escabrosidad Leyes potenciales Memoria Multifractalidad del tiempo	Mandelbrot, B. Peters, E.
Finanzas conductistas	Utiliza la psicología cognitiva Sesgos debido a: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La costumbre (estereotipos)</li> <li>• Optimismo excesivo</li> <li>• Dependencia del marco de actuación</li> <li>• Mercados ineficientes</li> <li>• Teoría “prospect”</li> </ul>	Kahneman, D. Tversky, A. Thaler, R. Shiller, R.
Econofísica	Modelos de la mecánica estadística, electrodinámica, fluidos, cuántica, Teoría caótica Características similares a las de la Geometría Fractal	Mantegna, R.N. Stanley, E. Bonnano, G. Bouchaud, J-P. Ilinski, K. Vanderwalle, N.
Teoría de redes	Modularidad Leyes potenciales Redes libres de escala Percolación	Watts, D. Barabási, A-L. Albert, R.
Complejidad	Emergencia No linealidad Auto-organización Vecindad Retroalimentación Adaptación al entorno Expectativas heterogéneas	Holland, J. Kauffman, S.
Ecología y Mercados artificiales	Mutación, selección natural, recombinación Modelos de algoritmos evolutivos Expectativas heterogéneas Rupturas y cambios bruscos	Farmer Arthur, B. Holland, J. LeBaron, B. Palmer, R. Taylor, P.

La hipótesis del mercado eficiente asume que la información utilizada en la toma de decisiones se transmite como un bloque y se distribuye de una manera aleatoria, de tal manera que todos los agentes se encuentran en el mismo punto de partida. Lo cierto es que la información, se extiende de

una manera dual, tanto a través de la información pública, como a través de las redes sociales. Estas redes no están formadas por nodos aleatorios, sino que están formadas por nodos con diferentes ponderaciones en términos del número de vínculos con otros nodos, generándose una jerarquía de éstos según el grado de conexión. Son las llamadas redes libres de escala, cuya característica principal es que son de una gran estabilidad y flexibilidad ante situaciones de ruptura parcial: la red se rehace en poco tiempo y con mínimo desgaste.

## **2.2. La ecología financiera**

No es una casualidad que las palabras Economía y la Ecología partan de la misma raíz griega, *oiko* o “casa”. Vivimos en una red económica co-evolucionaria con su sistema de nodos y flechas de diferente ponderación. Sin embargo, ampliándola a otras dimensiones, podemos decir que nuestro entorno es realmente una ecología económica en continua evolución. De tal manera que, al introducirse un nuevo artefacto (tecnología, modelo, algoritmo, conducta, etc.) en el mercado y encontrar un nicho, puede hacer que se extinga otro artefacto, acompañado de aquellos periféricos vinculados a éste, al mismo tiempo que se crean otros en su lugar. Fíjese, por ejemplo, cuando, debido a un cambio en el entorno, digamos, la regulación fiscal, un instrumento de ahorro queda anticuado y la banca reacciona introduciendo otro instrumento adaptado al nuevo entorno, ocupando el nicho anterior en términos de riesgo y rentabilidad.

La tecnología, considerada como conjunto de instrucciones o recetas que se utilizan para crear valor, evoluciona con cambios bruscos. Tras una determinada invención, surge una explosión de posibilidades con multitud de diseños, tras lo cual, se genera una selección de las más aptas debido a restricciones de diseño, terminándose en un proceso de mejora gradual lenta. Véase por ejemplo, el extraordinario desarrollo de instrumentos derivados de la teoría de opciones y la selección por parte de los inversores y bancos de inversión de aquellos más adecuados al entorno.

La difusión de una tecnología determinada, por otra parte, es un proceso dinámico que también evoluciona, no de manera gradual, sino que, a partir de un momento determinado, su aceptación se incrementa velozmente con un techo asintótico. La rapidez de difusión de una tecnología, un modelo de valoración, una conducta, etc., depende de factores como el crecimiento, la atracción preferencial, la distancia, y la estructura fractal o auto-similitud que va formando la topología de la red.

También, la adecuación de una tecnología, un agente, un modelo, etc., depende de sus características, y éstas están relacionadas entre sí. Por ejemplo, un determinado modelo de inversión tendrá ventajas o no dependiendo de otras características, por ejemplo, el nivel de aversión al riesgo o las restricciones financieras. Si el entorno se hace más arriesgado, entonces, la adaptación se hace más difícil, pues las soluciones óptimas a una parte de un problema chocan con otras soluciones óptimas. De esta manera, se debe de encontrar soluciones de compromiso. En el caso de un inversor potencial en un entorno de bajos tipos de interés real, puede utilizar sus recursos en invertir en renta fija con mínima rentabilidad o en renta variable u otros tipos de activos con precios ya muy elevados y con una rentabilidad esperada también baja. Es decir, el entorno es ya demasiado arriesgado, por lo que la adaptación se complica sobre la mejor estrategia a seguir.

Cambiar un único factor en el modelo, pongamos por caso, variar la decisión de comprar títulos de una empresa por parte de una fondo de inversión al variar el PER desde un 20% por encima de la media del sector a un 10%, genera unos efectos que se extienden por todo el sistema financiero, de tal manera que la vecindad se hace más rugosa, menos laminar, y se incrementa el riesgo sin que se de una mejora esperada de rentabilidad.

En los entornos con un nivel de riesgo o rugosidad moderada, y partiendo de un índice bursátil bajo, se puede incrementar la rentabilidad o, escalar picos más altos, dentro de lo que se ha venido en llamar el paisaje de adecuación, desde el mayor número de posiciones iniciales. Al escalar más alto, se

hace exponencialmente más difícil encontrar nuevas direcciones, es decir, la tasa de mejoras (rentabilidades) se ralentiza exponencialmente. También, al variar una tecnología, etc., su espacio de adecuación, las demás también lo cambian. Pongamos por caso dos modelos financieros generales: análisis técnico y fundamental. Están inexorablemente unidos, uno en función del otro, en una dinámica que genera procesos de co-evolución, donde el mismo proceso cambia, formándose una especie de mano invisible que dirige el sistema. Es lo que se llama la carrera de armamentos: En términos de agentes, el mecanismo de defensa por parte de la competencia ante un incremento de rentabilidad financiera de un certificado de depósito de un banco determinado podría consistir en una contraoferta de un producto estructurado o la oferta-regalo de un aparato electrónico de consumo. Al final los dos bancos se encuentran en la misma posición previa. Es lo que se llama la reina roja, en honor a ese personaje de Lewis Carroll: Por mucho que corriese, siempre estaba en el mismo sitio. La co-evolución es una historia de paisajes cambiantes.

Si en vez de dos especies, estrategias, o modelos, incluimos miles de ellas, el juego interactivo puede pasar desde un estado estacionario, a otro en desequilibrio constante. Para ello, las simulaciones en ordenador con infinidad de agentes heterogéneos son los más adecuados. Pero fíjese en la cantidad de modelos utilizados por los agentes. Los modelos, como las especies, si fracasan, desaparecen... En otras palabras, unas especies terminan por desaparecer, otras evolucionan mejorando su capacidad de adaptación, y todo el sistema, se mueve hacia un estado crítico, de avalanchas de diferentes tamaños, de crisis en suma, hasta que se encuentra otro estado de equilibrio temporal.

Específicamente, los mercados financieros son ecosistemas en evolución de estrategias competidoras de compra-venta en paisajes de adecuación en donde los agentes pueden ser mutualistas, competidores, anfitriones, parásitos, y otros tipos de relaciones. Supongamos que un agente tiene una característica determinada que confiere una ligera ventaja selectiva, por ejemplo, una estrategia bursátil. Entonces, la selección natural actúa sobre la población completa para incrementar la frecuencia de esta estrategia, dependiendo de la formación del paisaje de adecuación o entorno. Cambiar un factor en el modelo, por ejemplo, variar la decisión de comprar títulos cuando el PER sea inferior de un 20% a un 10%, tiene unos efectos que se extienden por todo el sistema, según las estrategias que se sigan, cambiando el paisaje de adecuación.

Si incluimos una gran variedad de agentes, entonces, el juego interactivo puede terminar en una situación crítica. Y es en este punto, de alta tecnología financiera, donde se producen avalanchas y rupturas de gran tamaño. Un ejemplo claro es la desaparición de algunos bancos de inversión en los EE.UU. durante el mes de septiembre de 2008. Tras estos cambios bruscos, las innovaciones se hacen suaves, más moderadas.

### **3. MODELOS DE SIMULACIÓN DE MERCADOS FINANCIEROS BASADOS EN AGENTES HETEROGÉNEOS**

Marshall intuyó que la Biología es el espejo donde debe mirarse la Economía, y para Menger, la Psicología es la hermana de la Economía, por lo que otra aproximación al estudio de la conducta de los inversores es la utilización de modelos de simulación basados en los agentes en un entorno artificial como es un ordenador. Esta aproximación parte de la economía experimental, evolutiva, y computacional que engloban subdisciplinas como la ACF o *agent-based computational finance*, analizándose posteriormente los resultados con métodos estadísticos.

La finalidad bien podría consistir en ofrecer decisiones óptimas de distribución de carteras, la compra/venta de un activo financiero, o cierta predicción cualitativa. Los modelos más avanzados incluyen una gran variedad de fenómenos observables en las economías de mercado, como son el aprendizaje inductivo, la competencia imperfecta, la formación de redes de negociación endógena, la coevolución de las conductas de los agentes y las instituciones económicas.

No parece que sea muy complicado estudiar las reacciones entre dos cuerpos, por ejemplo, el sol y el planeta tierra, el protón y el electrón, o entre dos empresas, dos mercados, etc., pero hace falta subir a un nivel más complejo, donde los agentes, con algún tipo de reglas, interactúan en sistemas económicos simples, por ejemplo, una colonia de hormigas. Así tenemos los modelos metaheurísticos de optimización ACOs (*ant colony optimization*) o modelos computacionales sobre las colonias de hormigas basados en las feromonas, tipo MANTA (*Modelling an Anthill Activity*).

A partir de ahí se puede incrementar la complejidad, pues los agentes poseen idiosincrasias y niveles de riqueza diferentes, por lo que se puede romper la homogeneidad de los agentes por medio de incluir algunas características que los definan, como pueden ser diferentes estados y normas de conducta o micromotivos, interactuando en un proceso iterativo. El proceso dinámico se expresa algorítmicamente, de tal manera que, a través de un proceso selectivo, se van creando nuevas conductas y, en definitiva, una macroconducta. Se trata de entender las regularidades globales emergentes que surgen de abajo arriba a través de las interacciones locales de vecindad repetidas de agentes egoístas.

Evidentemente, un analista financiero no va a modelar un mercado artificial en un ordenador, aunque algunos bancos de inversión sí lo hacen, Sí es conveniente, sin embargo, el conocimiento, no solo de éstos modelos, sino de las dinámicas resultantes o macroconductas de dichos modelos. Existe una gran variedad en el nivel de complejidad de los modelos. Así por ejemplo, los modelos basados en la dinámica del recorrido o *path dependant dynamics* representan un conjunto de normas o estrategias fijas. Por el otro lado, tenemos modelos más complejos cuyos agentes evolucionan a través de un proceso de aprendizaje dinámico, tipo algoritmos genéticos, en un espacio muy amplio de posibilidades, cuya resolución es más bien teórica.

El modelo LLS (Levy, Levy, Solomon) sigue un proceso parecido al análisis de sensibilidad, al hacer variar el nivel de riqueza y las estrategias básicas de los agentes, observando, tras un proceso de iteración, el resultado final. Este modelo varía el conjunto de normas de los agentes siguiendo las estrategias más comunes del análisis fundamental, técnico, o del mercado eficiente. Por ejemplo, que la conducta del agente dependa de si el índice de fuerza relativa o RSI se sitúa por encima o debajo de un umbral determinado.

Otro tipo de agente posee un nivel de complejidad alto, por lo que hay que diseñarlo con técnicas de evolución genética, o inteligencia artificial para que tengan la capacidad de aprendizaje y adaptación, y así poder explotar las ventajas potenciales de mercados ineficientes. Concibe el mercado en un estado de no-equilibrio, con agentes con información limitada que utilizan una ecología de evolución de estrategias de negociación. Los modelos más comunes utilizan modelos ecológicos dinámicos, de tal manera que cada estrategia es percibida como una especie biológica, y el capital utilizado en cada estrategia, representa la población de cada especie. Éstas desaparecen y son reemplazadas por otras, según den buenos o malos resultados a los inversores. Al evolucionar las estrategias, el mercado tiende a hacerse más eficiente. Entonces, los precios fluctúan debido a la dinámica interna creada por la interacción compleja de la población de estrategias.

El mercado más conocido de este tipo es el artificial del Instituto de Santa Fe o SFI. Los agentes, en forma de cadena de dígitos, como el DNA de un organismo, empiezan con similares habilidades y estrategias y, al iterarse el modelo en un ordenador, van surgiendo endógenamente diferencias de conducta y estrategia, por lo que se forman agentes heterogéneos desde dentro. A través de algún procedimiento de aprendizaje, tipo algoritmos genéticos, el agente va mejorando o aprendiendo a optimizar los resultados. Mejora su espacio de adecuación, según la terminología al uso. También existen mecanismos de negociación que intentan emular al mercado real, como la teoría de juegos.

Por ejemplo, empezar con una norma básica de predicción, del tipo media histórica ponderada de rentabilidades, e ir variando la norma según vaya mejorando su capacidad de predicción. En el mercado artificial, se generan grupos según modelos tales que reflejen el mercado natural. Es decir, normas basadas en el análisis técnico (ondas de Elliot, índice RSI, bandas de Bollinger, etc.), fundamental (descuento flujos, PER, etc.), imitación (replicar el índice del mercado), contrario, o computacional (teoría del caos y otros modelos matemáticos).

El tipo de razonamiento en que los agentes forman sus expectativas reflejando al inversor real es el razonamiento inductivo. De esta manera, el inversor puede formar sus expectativas como hacen los inversores reales, en vez de la elección racional y su procedimiento deductivo de los modelos normativos. También hay modelos que varían la función de utilidad según la actitud ante el riesgo y las expectativas de rentabilidad.

El objetivo de un mercado artificial es desarrollar modelos cuya conducta sea robusta con respecto a los detalles de las interacciones, sin exigir predicciones cuantitativas precisas. Para un analista o inversor medio, un modelo de este tipo, más que proporcionarle un conjunto de predicciones cuantitativas, le ofrece un mecanismo de aprendizaje sobre la co-evolución de estrategias de inversión en un mercado financiero artificial, de tal manera que las consecuencias de ellos pueden ser extrapolables en mayor o menor medida, a los mercados reales. Al variar parámetros y observar los resultados, éstos modelos nos ofrecen al menos una intuición sobre a dónde nos conducen diversos modelos de inversión con base a conjeturas sobre la validez de diferentes hipótesis sobre el mercado.

Todos estos modelos recogen un rango de conductas amplio, basados en suposiciones económicas, ecológicas, y de la conducta, con diferentes niveles de riqueza y utilidad que generan un amplio cúmulo de sesgos (efecto calendario, reversión a la media, etc.) En definitiva, son herramientas que pueden ofrecer un marco de actuación donde poder resolver algunos tipos de problemas de conducta general y su reflejo en los movimientos de los precios.

No solamente el mercado reacciona a la información relacionada directamente con los datos fundamentales. También los operadores reaccionan a lo que piensan los demás. El famoso ejemplo del bar El Farol de Arthur viene a recoger el hecho de que el mercado nunca llega al equilibrio, estableciéndose una permanente dinámica circular parecida al no menos famoso concurso de belleza de Keynes: lo que haces depende de lo que esperas que hagan los demás, que depende de lo que espera que hagas, etc. La solución pasa por un mejor entendimiento de las ciencias cognitivas y los procesos inductivos de razonamiento. El modelo de Holland, mencionado más arriba, y basado en el procedimiento “si.../entonces”, muestra que somos capaces de actuar hasta cierto punto racional y estratégicamente, pero con dificultad para razonar a través de cadenas complejas de causa y efecto.

A pesar de que algunos consideran a la teoría de la complejidad como una impostura intelectual, lo cierto es que ha recibido el impulso de muchos premios Nobel, tanto de Economía como de otros campos como la Física, la Química, etc. Existen muchas formalizaciones sobre diferentes interpretaciones de lo que representa el término complejidad dependiendo del enfoque del que se parta. Una está basada en la teoría de la información, y parte de una perspectiva matemática. La otra es estructural y se corresponde con el concepto de sistemas complejos dinámicos. Estos sistemas pueden reflejar infinidad de sistemas naturales y sociales, incluyendo los inversores en bolsa, o más específicamente, sus estrategias de inversión.

Los mercados son mecanismos de búsqueda dentro de un proceso de cambio permanente que funcionan tan bien porque siguen la segunda norma de Orgel: “La evolución es más inteligente que tú”, representando los sistemas adaptativos complejos la versión más estudiada y popularizada de los sistemas complejos dinámicos. Pueden servir como guía para poder entender los procesos de generación de estructuras en cualquier sistema abierto, incluyendo los mercados financieros.

Estos sistemas reflejan especies o agentes que se adaptan según su propia ventaja egoísta, y donde el sistema co-evoluciona, de tal manera que la dinámica de cambio genera avalanchas de generación de entes o su extinción. Hace uso de características de los modelos ecológicos, de tal manera que utilizan el concepto de paisaje de adecuación, como marco conceptual para entender la autoorganización, la selección, y los cambios abruptos en los procesos evolutivos. La adaptación es un proceso según el cual, los agentes escalan o descienden a través de pequeñas variaciones hacia los picos o valles de mayor o menor adecuación o rentabilidad.

Los operadores básicos de los agentes son la mutación, la selección natural, y la recombinación. Los dos primeros actúan como motores de búsqueda de la mejor adecuación en el entorno, en el sistema, sin embargo, están limitados a buscar localmente en el espacio de posibilidades. Un tercer operador, la recombinación, da una visión general del paisaje para evitar quedarse atrapada en picos locales pobres. Por ejemplo, un mínimo cambio en un producto bancario explora un paisaje local. Sin embargo, a través de la recombinación de productos financieros, se puede investigar paisajes alejados con altos picos (*warrants*, convertibles o amortizables) a través de la utilización de la tecnología de las opciones financieras.

En definitiva, los modelos de simulación basados en los agentes, gracias al incremento del poder de computación y al desarrollo de enormes bases de datos financieras han posibilitado el estudiar muchos tipos de actores (agentes, empresas, países, estrategias) y sus interacciones (combinación, comercio, combate, mutualidad, parasitismo, rivalidad, atracción). Esto puede ayudar a resolver algunos tipos de problemas para los que el desarrollo de ecuaciones diferenciales no es útil. Esta situación es especialmente importante en entornos como los financieros. Su desarrollo, tanto en campos de la Física cuántica, de partículas, o de fluidos, como en departamentos de investigación de finanzas computacionales, no debe frenar a los agentes, operadores, analistas, estudiantes, y curiosos en general de conocer los nuevos avances en este campo. No se les asegura una rentabilidad bursátil, pero sí se les puede asegurar un incremento de su capacidad de análisis y de intuición en la observación de los movimientos de los activos financieros.

## **MATERIAL BIBLIOGRÁFICO BÁSICO**

- Arthur, B.; Holland, J.; LeBaron; Palmer, R.; Tayler, P. (1997): "Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market", en: Arthur, B.; Durlauf, S.; Lane, D. *The Economy as an Evolving Complex System II*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Barabási, A.L. (2003): *Linked*, Penguin Ed., NY.
- Farmer, J.; Lo, A. (1999): *Frontiers of Finance: Evolution and Efficient Markets*, Proceedings of the National Academy of Science.
- Holland, J. (1998): *Emergence*. Ed. Perseus, Cambridge.
- LeBaron, B. (2001): "A Builder's Guide to Agent Based Financial Markets", *Quantitative Finance*, Vol. 1, nº 2, pp. 254-261.
- Levy, M.; Levy, H.; Solomon, S. (2000): *Microscopic Simulation of Financial Markets*. Academic Press, Nueva York.
- Mandelbrot, B.; Hudson, R. (2006): *Fractales y Finanzas*, Metatemas, Madrid.
- Mantegna, R.; Stanley, E. (2000): *An Introduction to Econophysics. Correlations and Complexity in Finance*. Cambridge U. Press.
- Mauboussin, M. (2002): "Revisiting Market Efficiency: The Stock Market as a Complex Adaptive System". *Journal of Applied Corporate Finance*, 14, #4.
- Peters, E. (1993): *Fractal Market Analysis*, Wiley & Sons, G.B.
- Tesfatsion, L. (2002): "Agent-Based Computational Economics: Growing Economies from the Bottom Up". *Iowa State University, Economic Working Paper nº 1*.