

Complejidad y economía: algunos ejercicios

SARY LEVY-CARCIENTE*

pp. 43-61

Resumen

La complejidad de las ciencias sociales encuentra en las nuevas perspectivas la posibilidad de reflejar y reconocer la multidimensionalidad, la multicausalidad, la no linealidad y la irreversibilidad temporal propias de ellas; elementos que el enfoque teórico-metodológico cartesiano dificultaba evidenciar, por lo cual los esfuerzos científicos en estas áreas eran siempre deficientes. El presente trabajo recoge algunos ejercicios con modelos ubicados en esas perspectivas —a través de aparatos matemáticos, simulación basada en agentes y simulación por sistemas dinámicos— y la evaluación de datos empíricos con herramientas innovadoras.

Palabras clave

Complejidad / Simulación / Econofísica / No linealidad / Economía

Abstract

The complexity of social sciences finds in the new perspectives the possibility to reflect and to recognize the multidimensionality, multicausality, non linearity and temporal irreversibility proper to them; elements not easily evident with the Cartesian theoretical-methodological focus, being therefore the scientific efforts in those areas always deficient. The present work gathers some modeling exercises embedded in these perspectives—through mathematical apparatus, simulation based on agents and simulation by system dynamics—and the evaluation of empiric data with innovative tools.

Key words

Complexity / Simulation / Econophysics / No-linearity / Economics

* Profesora Titular de la Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Central de Venezuela.
Correo-e: saryle@yahoo.com

Introducción

La conceptualización más difundida para acercarse al conocimiento es la que conocemos como *método científico*, la cual responde a las características propias del tiempo histórico en el que surge: la modernidad.

Siguiendo a Fernando Mires (1996) podemos caracterizar la modernidad como naturalismo, esencialismo, racionalismo, lógica dicotómica, idea de trascendencia, creencia en la existencia de leyes que permiten un orden universal objetivo y separación abrupta entre objetividad y subjetividad. La simplificación artificial que deriva de esta perspectiva, si bien ha permitido grandes avances científicos, también ha obviado infinidad de interrelaciones y complejidades que en muchos casos debilitan la fuerza de sus resultados, o su validez se verifica en casos o bajo condiciones muy específicas. Así, desde la modernidad, debía ser la ciencia quien nos guiara, pero según I. Prigogine (1996) «lo real ha perdido su última garantía moderna: las ciencias».

Ciertamente, la razón universal es desplazada por una pluralidad de sistemas formales y axiomáticos, y la ciencia exige nuevas formulaciones que permitan incorporar la multidimensionalidad de los procesos, las sinergias resultantes de sus interrelaciones, su dimensión evolutiva, el indeterminismo, la imposible separación sujeto-objeto y la asimetría del tiempo. Lo anterior reclama revisar las perspectivas epistemológicas y metodológicas de las ciencias, para que estas puedan dar explicaciones adecuadas y satisfactorias a las realidades o fenómenos que se presentan.

Holismo, enfoque sistémico, no-linealidad y complejidad son palabras clave de un nuevo paradigma que emerge y que apuesta a atender las exigencias que, en su avance, se impone la ciencia.

En el ámbito de lo social, la conceptualización moderna de sociedad como unidad total presuponia niveles de agregación y dimensiones (económica, política, cultural, tecnológica, etc.) cuya interrelación se ajustaba a una trayectoria definida. Lo anterior resultó una estrategia eficiente para «ordenar, describir y analizar» —abstracción mediante— una imagen coherente del funcionamiento social.

Hoy en cambio arribamos a concepciones a partir de las cuales la sociedad¹ no es un ente unitario, no es una totalidad delimitable, sino un complejo entramado de relaciones de diferente índole que se cruzan, interceptan y /o se superponen, de donde ni el ámbito ni la dinámica de sus conceptos troncales —Estado, mercado, nación, por ejemplo— coinciden, ni tienen que hacerlo (Mann, 1991).

¹ Sociedad, del latín *societas*, deriva en *socius*, aliado no romano, que implica una alianza asimétrica, una relación flexible y no rígida o unitaria (Mann, 1991:31).

Una de esas dimensiones vitales de acción humana en sociedad es la económica y la ciencia económica surge como tal a partir del siglo XVIII, y como el resto de las ciencias sociales hará uso del método científico en su avance para mejorar el entendimiento de sus dinámicas y favorecer con herramientas a los tomadores de decisiones. Así, como en las ciencias exactas, se tratará de descomponer la realidad en subconjuntos y variables, ordenándolas por relaciones causales o temporales, algo realmente difícil de realizar, pues como Herbert Simon argüía, son las ciencias sociales las realmente duras, por cuanto la complejidad de los problemas que enfrenta no puede ser reducida a modelos analíticos y descompuestos en subprocesos separados.

Una gruesa simplificación de la visión económica podría resumirse indicando que se define a partir de la interrelación de los siguientes componentes axiales: agentes económicos racionales movidos por el beneficio personal, un mercado atomizado, con información gratuita y perfecta, costos transaccionales nulos y el mercado como el lugar que permite el mejor uso de los recursos y por ende capaz de lograr el equilibrio, todo en ausencia de la interferencia gubernamental.

A partir de estos supuestos la ciencia económica se ha ido desarrollando, consciente de que la simplificación es meramente una herramienta necesaria, y ha habido buenas, muy buenas razones, para hacer uso de ella. En la actualidad, cada uno de estos elementos simplificadores está siendo cuestionado seriamente, y en diálogo con su tiempo la ciencia económica reconoce la imposibilidad de objetividad, reivindica las particularidades, rescata la complejidad, entroniza el desorden y aclama la flecha del tiempo, puesto que los procesos económicos, como todas las prácticas humanas en sociedad, son de carácter complejo, multicausal y dinámico.

Así, el plano económico es campo fértil para que nuevas perspectivas revisen su esfera y de ella extraigan nuevas explicaciones y propuestas de acción. Las aplicaciones se han ido dando tanto desde el plano teórico, aportando en las abstracciones explicativas de las dinámicas económicas, que en muchos casos se plasman en modelos; como extrayendo información de la data empírica, permitiéndole a esta explicar los comportamientos de actores y agentes. De igual manera se desarrollan simulaciones que combinan la modelística, generalmente con coeficientes que derivan de la data empírica y que a su vez son útiles para la validación de planteamientos teóricos, así como para derivar decisiones de política, a partir de escenarios preconcebidos.

Algunas aproximaciones

A continuación, inspiradas en estas nuevas perspectivas, algunas aproximaciones a temáticas económicas, realizadas de forma individual y con un grupo de colegas.

Ejercicio de modelización teórica. Ciclos y fluctuaciones financieras

Se desarrolla un modelo matemático de dos precios, que parte de una perspectiva poskeynesiana y que toma en cuenta las fluctuaciones como mecanismo endógeno y dinámico del comportamiento económico (Levy-Carciente, 2005).

El modelo pretende mostrar cómo movimientos cíclicos de determinadas variables, producidos como consecuencia de las fluctuaciones de economías con sofisticación financiera, devienen en dinámicas marcadamente irregulares. Seguidamente se ofrece una síntesis explicativa del mismo.

Algunos elementos teóricos

En la tradición poskeynesiana, Hyman Minsky (1982) desarrolla planteamientos que explican las fluctuaciones económicas como el resultado de la especulación, la inversión y la deuda financiera en un entorno marcado por la incertidumbre. El modelo, bajo un esquema de oferta monetaria endógena, le otorga un rol activo a los intermediarios financieros, quienes al tomar ventaja de las condiciones cambiantes del mercado generan un ambiente de creciente fragilidad financiera.

Así, en condiciones de crecimiento económico se favorecen expectativas de inversión y por tanto del crédito que la viabiliza. En la medida en que la prosperidad se incrementa, las expectativas optimistas se enfatizan, lo que presiona al alza del precio de los bienes de capital y de las acciones de las empresas, las cuales, finalmente, terminan sobrevaluadas y sobreendeudadas. La nueva situación transforma las expectativas, ahora con un sentido pesimista: se comienza a liquidar activos y se inicia un período de deflación, esto conduce a una contracción de la inversión y finalmente de la demanda agregada.

La interacción que se sucede entre los factores financieros y reales está claramente presente en la especificación que Minsky realiza de la estructura dinámica de las economías financieramente sofisticadas. Para este autor, las fluctuaciones y las crisis a las que están sometidas las economías son de carácter endógeno, existiendo una tendencia a la fragilidad financiera y la inestabilidad sistémica, potenciada por la sofisticación en los sistemas financieros y las políticas económicas para contrarrestar los ciclos. El sistema permanecerá estable sólo si el flujo de ganancias permite a las empresas cubrir sus compromisos de deuda. De ahí que las expectativas futuras sobre ganancias futuras afecten el nivel de inversión y el grado de endeudamiento deseado. Una vez que la estructura financiera es frágil, la crisis puede desencadenarse y amplificarse ante cualquier *shock* que modifique las expectativas negativamente.

De lo anterior se observa que para Minsky el proceso de acumulación y su financiamiento presenta dinámicas no lineales, en tanto que períodos de estabilidad pueden dar origen a situaciones turbulentas e inestables. A pesar de lo interesantes que resultan los trabajos

de Minsky, la falta de un modelo que sintetice sus planteamientos ha sido impedimento para su mayor análisis y difusión.

Elementos del modelo

Las fluctuaciones o ciclos económicos son el resultado del proceso de acumulación del sistema capitalista, y por cuanto la acumulación depende principalmente de la inversión, esta es la variable macroeconómica en la que se focaliza el análisis. Además, tomando en cuenta el natural vínculo entre los niveles micro y macroeconómico y las esferas real y financiera de la economía, se consideraron las características de la demanda para la inversión y por ende de sus fuentes de financiamiento, las cuales se sintetizan en internas o propias de la empresa y externas o por intermediación de instituciones financieras.

El autofinanciamiento será posible en la medida que existan beneficios no distribuidos que la empresa decida invertir en la formación del capital reproductivo. Estos beneficios no distribuidos son el resultado de las ganancias del período anterior, las cuales dependerán básicamente de la relación entre las ventas del bien o servicio, su precio y el nivel de rentabilidad de la empresa; y de los costos de producción, de realización del bien o servicio y el nivel de endeudamiento existente.

Las fuentes externas, asociadas al sistema financiero, pueden ser de dos tipos: de crédito o de inversión. En el primer caso, la contratación de un crédito dependerá de la relación entre la tasa activa cobrada por las entidades bancarias y la ganancia esperada a partir de la inversión realizada. El pago o servicio de este crédito tendrá dos componentes básicos, la amortización del capital y los intereses acumulados a final de cada período.

En el caso de financiamiento externo por inversión, será el mercado de capitales el que aporte el financiamiento, sea a partir de la emisión de títulos de renta fija o de renta variable. En el caso de la emisión de títulos de renta fija, la empresa contrae un pasivo a una tasa de interés dada, por lo que el resultado para la empresa puede verse similar a la contratación de un crédito. En el caso de la emisión de títulos de renta variable, el financiamiento tendrá como contrapartida una cuota de los beneficios, o visto de otra forma, lo que la empresa ha adquirido es un nuevo socio. Puesto que los beneficios a recibir son inciertos, la evaluación que la empresa realiza sobre la factibilidad y conveniencia de la emisión de títulos de renta variable tendrá como referente los costos ciertos del mercado bancario. De ahí que el financiamiento externo tenga siempre como referente primario la tasa activa bancaria.

A nivel general, la oferta de capital dependerá de la tasa de interés y del riesgo asociado a la inversión y la demanda de capital dependerá de la tasa de rentabilidad esperada y su relación con la tasa de interés.

Partiendo de la clasificación realizada por Minsky de las empresas en función de su capacidad de cubrir sus compromisos contractuales en unidades cubiertas, especulativas y

Ponzi, será el tipo de empresa, o su proporción dentro del sector empresarial en su conjunto —asociado a las expectativas que acompañan al ciclo económico—, lo que permita evidenciar el nivel de fragilidad, el cual resulta inherente al propio proceso de acumulación y más específicamente al proceso de financiamiento de la inversión.

De lo anterior se tiene que el nivel de fragilidad de la empresa dependerá de la relación existente entre las fuentes externas e internas para el financiamiento de la inversión, es decir, entre los compromisos contractuales o servicio de deuda acumulada para el período dado y los niveles de utilidad esperados excluidos los costos financieros.

Considerando que el comportamiento de las empresas está claramente vinculado a la fase del ciclo en la cual la economía se halla inmersa, y extrapolando el desenvolvimiento empresarial al ámbito macroeconómico, se calcula el nivel de fragilidad de una economía abierta frente a terceros.

Una visión dinámica del proceso de fragilización de la economía y su tendencia a la inestabilidad, no sólo obliga a revisar los compromisos en determinado momento, sino que exige evidenciar la evolución que el nivel de endeudamiento presenta, según la explicación desarrollada con anterioridad.

Así, se establece que la relación dinámica determinante a evaluar será la del nivel de deuda acumulada y la capacidad para la generación de fondos (Φ_t), la cual puede ser graficada para evaluar su dinámica.

Para ajustar el modelo a las dinámicas fluctuantes de la economía se deben incorporar al menos tres elementos:

1. que el comportamiento de la tasa de crecimiento de las exportaciones fluctúa ajustado a la fase del ciclo en la cual se halla inmersa la economía;
2. que considere la dinámica fluctuante que manifiesta la tasa de interés, según la fase del ciclo en el cual está la economía;
3. la posibilidad de considerar que la tasa de interés refleje dinámicas no acompasadas al ciclo económico de la economía.

Resultados del modelo

El modelo desarrollado ha permitido evaluar dos casos básicos a partir del comportamiento de las tasas relevantes para nuestro estudio (tasa interés y tasa de crecimiento de las exportaciones), a saber:

1. *Interés y crecimiento constante.* En este caso, la dinámica hacia la inestabilidad depende de la relación de la tasa de interés con la del crecimiento de las exportaciones, de forma tal que el acervo de deuda mantiene una relación directa con la primera e inversa frente a la segunda y su velocidad de convergencia o divergencia dependerá del valor asumido por el

producto de la relación marginal capital-producto y la tasa de crecimiento de las exportaciones frente la capacidad de generar exportaciones en el saldo de balanza comercial.

2. *Interés y crecimiento fluctuante.* En este caso la dinámica hacia la inestabilidad depende de la relación de amplitud, longitud, dirección y sentido de las fluctuaciones evidenciadas por las tasas evaluadas, de forma tal que los valores absolutos de las tasas no explican de suyo la convergencia o divergencia de la tendencia. Dentro de este caso se evaluaron tres posibilidades: tasa de interés constante/tasa de crecimiento fluctuante, ambas tasas fluctuando de forma acompasada, ambas tasas fluctuando de forma no acompasada.

El análisis de la dinámica permite concluir que su estabilidad/inestabilidad se explica cada vez menos por los valores absolutos de las tasas en la medida que la longitud de sus fluctuaciones se hace más diferenciada.

De lo anterior se infiere una mayor inestabilidad en los casos de ciclos no acompasados que en los acompasados y de estos últimos por sobre los que presentan tasas constantes.

El último de los casos planteados, tasas de interés y de crecimiento fluctuantes de forma desacompasada, tiene particular interés para economías pequeñas/medianas y abiertas, pues el capital requerido para sus inversiones es, en un importante porcentaje, de carácter externo, de ahí que la dinámica de su precio (tasa de interés) no esté acompasada a las necesidades y realidades de la economía prestataria.

Se observa en los gráficos que recogen las dinámicas resultantes del modelo (v. Anexo, gráfs. 1 al 5) que movimientos cíclicos de determinadas variables, producidos como consecuencia de las fluctuaciones normales de la economía, devienen en dinámicas marcadamente irregulares que impiden que políticas derivadas de esquemas convencionales, lineales, atemporales y con excesiva simplificación tengan los efectos equilibrantes que buscan; de donde más que una crítica a las políticas económicas tradicionalmente aplicadas, lo que deriva es una impugnación a la aceptación rígida de los marcos teórico-metodológicos de las que han emanado y la imperiosa necesidad de la incorporación de nuevas y más amplias perspectivas

Ejercicios de modelización por simulación

Algunos elementos teóricos

Para apoyar el avance de la ciencia y el conocimiento, la construcción de modelos ha sido una de las estrategias o herramientas que más ha ayudado, pues favorece la concreción de un proceso de abstracción de ciertos aspectos de un sistema real y facilita la evaluación de sus dinámicas e implicaciones.

Por lo general, la modelística se ha formalizado matemáticamente, siendo que hoy día, gracias a los avances en la computación, se logra también a partir de la inferencia lógica, abriendo la posibilidad de simular sistemas altamente complejos. Entre las técnicas de

simulación se pueden diferenciar aquellas basadas en el comportamiento de los agentes y las basadas en la dinámica del sistema (DS).

Los modelos de simulación basados en agentes fundamentan su filosofía en que el comportamiento de sus individuos y sus interacciones genera la complejidad resultante del sistema, y uno de sus conceptos más determinantes es el de emergencia. Esta técnica ha demostrado ser muy útil para el tratamiento de sistemas sociales (Gilbert y Troitzsch, 1999).

Los modelos basados en agentes permiten un mejor entendimiento de procesos sociales (económicos, políticos y culturales), a partir del comportamiento individual. Su énfasis está en los patrones de interacción entre agentes, sus características variadas y sus esquemas de aprendizaje.

Por su parte, la simulación por DS se centra en la relación entre las variables observables de cualquier tipo de sistema —la cual por lo general es no lineal y generalmente presenta realimentación— y su evolución en el tiempo. La construcción de estos modelos parte de la distinción entre dos tipos de variables, de nivel y de flujo, cuyos elementos edifican modelos que describen sistemas internamente conectados por relaciones uni, multi o bidireccionales y facilitan la comprensión de las causas estructurales del comportamiento sistémico.

Dentro de las ventajas de la DS destaca la facilidad que ofrece para la comprensión de situaciones complejas, permitiendo identificar las variables claves y las sensibles, facilitando el análisis de múltiples alternativas, favoreciendo la escogencia de la óptima. Específicamente, en el campo de las ciencias sociales permite construir modelos simples, focalizados en ámbitos específicos de la realidad, y descubrir las consecuencias de la aplicación de determinadas políticas, las cuales se fundamentan en teorías socioeconómicas y se aplican a sociedades artificiales.

Cada uno de estos esquemas de modelaje tiene sus fortalezas y debilidades y posiblemente la integración de ambos sea el derrotero de quienes insisten en estas metodologías. En cualquier caso, la simulación es una poderosa estrategia para el estudio de sistemas que presentan complejidad en sus dinámicas.

Simulación de sofisticación financiera basada en agentes

Con la finalidad de realizar una evaluación comparativa de los resultados de una economía, como consecuencia de sus distintos niveles de sofisticación financiera, se realizó una simulación basada en agentes que emulaban una economía de competencia perfecta y con agentes plenamente independientes (Levy-Carciente y Jaffé, 2007).

A tal fin, se utilizó el programa Sociodynamica, el cual simula un mundo toroidal bidimensional a través del cual distintos tipos de agentes no pueden aprender ni heredar sus resultados y se mueven aleatoriamente (movimiento browniano), cada uno a su propia velocidad. Su espacio de actuación (mundo toroidal) fue dotado de un número determinado

de agentes y de recursos: tierra para agricultura (recursos alimenticios) y de minas (recursos minerales).

La dinámica económica se emuló de la siguiente forma: cada vez que un agente pasa sobre alguno de estos espacios de recursos adquiere una unidad del recurso correspondiente y acumula riqueza, sea como alimento o como mineral. Claro está, los agentes gastan parte de su riqueza en alimento para sobrevivir, y consumen alimentos a una tasa basal dada, de donde esta determina el grado de restricción externa o de competitividad del entorno. Los agentes que no logran acumular recursos alimenticios mueren y son sustituidos por un nuevo agente.

De forma similar los agentes que encuentran minerales adquieren una unidad del recurso cada vez, pero los minerales no se degradan y la posesión de minerales se consideró inversamente proporcional a la probabilidad de muerte de los agentes; así agentes sin minerales acumulados pueden sobrevivir, pero con menor probabilidad.

Asumiendo competencia perfecta en los mercados, equilibrio general, desestimando imperfecciones de los mercados y costos transaccionales, se evaluaron tres escenarios económicos y se cruzaron con diferentes niveles de división del trabajo y habilidades de los agentes.

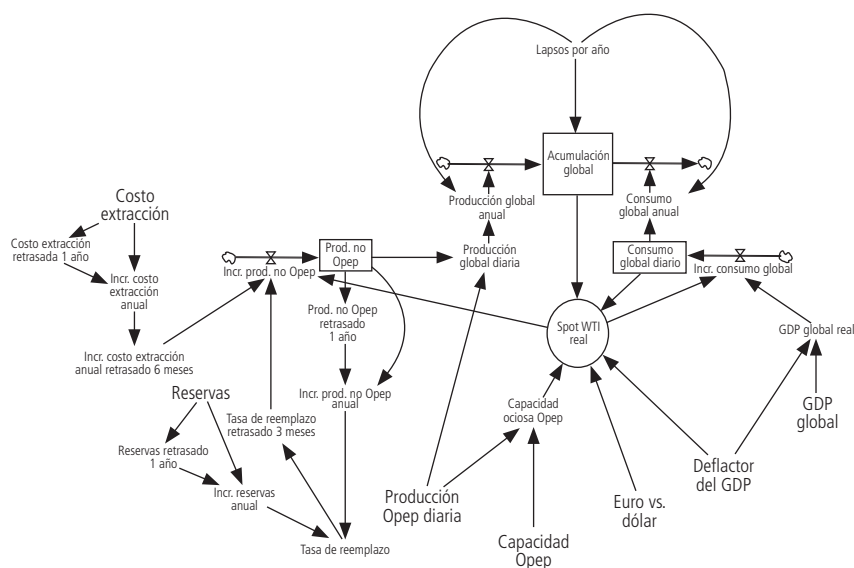
Escenarios	Agentes / Habilidades
Economía de trueque: sin instrumentos financieros	Granjeros
Economía monetaria: con dinero que facilite el comercio	Mineros Comerciantes
Economía financiera: con creación monetaria a través del proceso crediticio	Múltiples habilidades

Los resultados de este ejercicio de simulación basado en agentes evidencian cómo la dinámica de los actores independientes en el tiempo puede generar dinámicas no lineales similares a aquellas que observamos en la vida real. La simulación utilizando Sociodynamica nos permitió observar que la sofisticación financiera es clave en el manejo de las dinámicas económicas. Inferencia similar sobre la división del trabajo, las habilidades de los agentes, que emulan el nivel de desarrollo y educación de la población. Lo anterior respalda muchos de los planteamientos teóricos que se han desarrollado en el plano económico, siendo que además los hace visible de forma sencilla, constituyéndose en una herramienta interesante para la enseñanza.

Simulación del mercado petrolero por dinámica de sistema

Partiendo de las relaciones básicas de mercado que vinculan oferta, demanda, precio y sus interacciones con diversas variables económicas, se plantea un modelo estructural de sistema dinámico para el mercado petrolero global, que permite simular el precio del crudo marcador WTI, la producción, el consumo y la acumulación de petróleo, suponiendo conocidos los comportamientos de los factores exógenos del modelo: producto interno bruto global y su deflactor, la relación euro/dólar, la producción diaria y la capacidad de producción de la OPEP, y el costo de extracción por barril y las reservas de crudo de los países no OPEP agrupados en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, OCDE (Levy-Carciente y otros, 2011).

Modelo de simulación por dinámica de sistema del mercado petrolero global



El modelo se estructura a partir de cuatro submodelos: producción, acumulación, consumo y precio, que se integran simulando interacciones complejas no lineales entre los factores que inciden en el mismo. Su estructura implica el cumplimiento de las reglas clásicas básicas del mercado. El precio depende de los desequilibrios oferta-demanda materializados en las fluctuaciones de los inventarios globales, y las relaciones oferta-producción y demanda-consumo dependen del precio del crudo y viceversa, a través de los lazos del modelo. Este tipo de interacciones en lazo cerrado entre las variables es inherente a un modelo de simulación

de sistema dinámico; dichas interacciones difícilmente pueden ser replicadas en los modelos econométricos convencionales. Tras el establecimiento de las variables y sus relaciones se establecen los coeficientes a partir del comportamiento de series en un pasado conocido y se evalúa finalmente su desempeño en la simulación de un horizonte futuro.

El modelo se ha probado, demostrando un desempeño satisfactorio en la simulación del pasado conocido en un horizonte de mediano plazo, 1995-2008. Se propone un escenario futuro de corto plazo entre 2009 y 2011 para los factores exógenos, con base en el cual el modelo predice el comportamiento del precio real del crudo WTI, así como el de la producción, el consumo y la acumulación de crudo para el mismo lapso.

Por sus características y forma de implementación, el modelo dinámico del mercado petrolero global propuesto en este trabajo es fácilmente extensible para la consideración de factores exógenos adicionales y la simulación del mercado bajo otras arquitecturas de funcionamiento. Además de la simulación del mercado usando otros factores exógenos que pueden incidir sobre él, se recomienda particularmente la adaptación del modelo dinámico para considerar el comportamiento no arbitrario o cooperativo de la OPEP en el funcionamiento del mismo.

Ejercicios con data empírica

Algunos elementos teóricos

El comportamiento del mercado de las materias primas es un indicador clave para anticipar la dinámica económica, en una primera instancia, en aquellos sectores industriales que procesan estos recursos y, en general, en la producción nacional y el ciclo por el que atraviesa toda la economía.

Por tanto, la dinámica del precio de las materias primas es vista como una variable clave en la descripción, análisis y diseño de políticas públicas, como fuente de información central de una especie de causalidad invertida en el resultado económico. Esto es de particular importancia para países poco desarrollados y economías dependientes de sus exportaciones.

Pero el precio de las materias primas es conocido por su dificultad de predicción, por su alta volatilidad y sensibilidad a condiciones climáticas y económicas. En tal sentido existen dos formas para reducir el impacto de este comportamiento: el establecimiento de costosos controles o cubrirse a través de transacciones en el mercado de futuros.

Desde lo empírico, el comportamiento de los mercados financieros ha sido motivo de estudio por muchos años y no son pocos quienes lo caracterizarían de errático y aleatorio, mientras otros han tratado de modelarlo principalmente por medio de distribuciones normales o analizarlo a partir de comportamientos puntuales. Según si el enfoque se centra en las causas o las consecuencias, el análisis se clasifica en: análisis fundamental –focalizado en las causas o determinantes del comportamiento de los precios– y análisis técnico –que

se enfoca en el comportamiento mismo e intenta detectar los niveles críticos y probabilidad de cambio.

La teoría de Dow, la teoría de las ondas Elliot, las relaciones de Fibonacci y una serie de osciladores e indicadores técnicos son algunas de las herramientas más conocidas del análisis técnico. A partir del avance en la informática y el procesamiento de datos, la perspectiva técnica ha adquirido un nuevo impulso, ahora combinada con perspectivas no lineales; por tanto, la capacidad de entender y predecir el mercado dependerá del avance en la estadística no lineal. De igual manera, recientes estudios indican que las series financieras poseen estructuras complejas (Gabaix y otros, 2003; Mantegna y Stanley, 2000), por lo que se comienza a utilizar una serie de instrumentos derivados de la física, tratando de que emerjan estas dinámicas subyacentes.

Por ende, partiendo de la existencia de estructuras no lineales subyacentes en las series financieras de las materias primas, se utilizará un conjunto de herramientas que permita evidenciarlas, tanto para el mercado del petróleo, como para una serie de materias primas agrícolas.

Evaluación de la complejidad del mercado petrolero

Utilizando las series de precio y volumen transado de futuros del índice de petróleo Brent desde junio 1988 a septiembre 2002, se analizó la data utilizando los programas MatLab 6.5, Chaos Data Analyser (Sprott y Rowlands, 2003) y procesadores tradicionales para análisis estadístico (Levy-Carciente y otros, 2004).

Primero se realizó un análisis estadístico tradicional, el cual no ofreció mayor información, salvo una asociación positiva entre ambas series que se modificaba según los períodos:

1995-1998	$r_{yx} = 0.862440357$ asociación fuerte
1999-2002	$r_{yx} = 0.440382945$ asociación débil a moderada
1999-2003	$r_{yx} = 0.084849421$ asociación mínima

con un grupo de tres atractores temporales en cada período. Por su parte, las series de volumen mostraron oscilaciones mucho mayores que las de precio con claro comportamiento tendencial, mientras que la serie de precio era mucho más irregular. Ambas series resultaron leptokúrticas, siendo la kurtosis mayor para la serie de precios.

Para evaluar las series con herramientas de econofísica, se elaboraron espacios de fase de las diferencias consecutivas, en las que se observó un claro comportamiento diferenciado en ambas series.

Asimismo, se calculó el exponente de Hurst, el cual para la serie de precios fue de 0.333, mientras que para la de volumen fue de 0.075. En ambos casos nos indicaba que

las observaciones recogidas en las series no eran independientes, sino que ambas presentaban memoria, y en las dos los resultados indicaban que las series eran antipersistentes. Sin embargo, esta memoria se perdía pasados los 10 años. Lo anterior indicaba que si bien la complejidad de las series era importante, en un lapso importante de tiempo, las mismas no referían comportamientos aleatorios.

Evaluación del mercado de materias primas agrícolas

Utilizando las series de precio y volumen de los primeros contratos de futuros transados en NYBOT (New York Board of Trade) de cacao, café, algodón, jugo concentrado de naranja y azúcar, desde junio 01, 1999 a mayo 28, 2004, se procedió a realizar un análisis estadístico de las series con el programa CDA (Sprott y Rowlands, 2003) e instrumentos propios de hojas de cálculo (Levy-Carciente y otros, 2005).

El análisis inicial de las series de precio mostró que las mismas no seguían distribuciones normales, sin ser aleatorias, pero presentaban asimetrías importantes, estructuras multimodales y distribuciones leptokúrticas, lo cual era indicio de una estructura subyacente. Por su parte, las series de volumen presentaban comportamientos cíclicos. Aunque las series de precio y volumen de los distintos productos mostraban correlaciones bajas, el ordenamiento de la relación indicaba la posibilidad de atractores no lineales, diferenciados por producto.

Todas las series mostraron valores del exponente de Hurst menores a 0.5, indicando antipersistencia, es decir que las tendencias pasadas en el comportamiento de las series se revierten en el futuro.

En los mercados financieros, plantear la existencia de caos determinístico implica que su comportamiento está influenciado en última instancia por un número determinado de factores. De ser así, su predictibilidad, aunque claramente difícil, es, en teoría, posible. El afán por predecir el comportamiento del mercado bursátil no es algo nuevo, y tampoco es cuestión de magia, sino de grados de libertad. Las nuevas herramientas que recogen los principios de no linealidad abren la posibilidad de ahondar en esta búsqueda.

Reflexiones finales

La complejidad propia de las ciencias sociales encuentra en las nuevas perspectivas la posibilidad de reflejar y reconocer la multidimensionalidad, multicausalidad, no linealidad e irreversibilidad temporal que les son de suyo; elementos que los enfoques teórico-metodológicos cartesianos dificultaban evidenciar, y por ende los esfuerzos científicos en estas áreas resultaban siempre insuficientes.

Estas nuevas perspectivas han logrado avances tanto desde el plano de la abstracción teórica como desde el análisis de la data empírica. El primero alimenta los modelos matemáticos y de inferencia lógica, favoreciendo que los mismos se ciñan más a las realidades

que pretenden explicar. En el segundo, herramientas provenientes de otras disciplinas, como la física, la matemática y la estadística no lineal, se aplican a series económicas, permitiendo aflorar de ellas patrones antes inextricables y cuyo entender realimenta las teorías explicativas.

Así, las nuevas perspectivas permiten a las ciencias económicas y sociales contar con herramientas que recogen las características que les son propias y las deslastran de las requeridas suposiciones y restricciones que el método cartesiano antes les imponía, desdibujando su exacto ser y devenir, pues su interés final no es otro que entender las dinámicas resultantes del ser humano en sociedad; de seres humanos reales, con sus virtudes y defectos, con sus intereses y temores, con sus comportamientos racionales y emocionales.

Referencias bibliográficas

- Gabaix, X., P. Gopikrishnan, V. Plerou y H.E. Stanley** (2003). «A Theory of Power-Law Distributions in Financial Market Fluctuations», *Nature*, vol. 423, pp. 267-270.
- Gilbert, N. y K. Troitzsch** (1999). *Simulation of the Social Scientist*, Buckingham-Philadelphia, Open University Press.
- Izquierdo, L.R.** y otros (2008). «Modelado de sistemas complejos mediante simulación basada en agentes y mediante dinámica de sistemas», *Empiria. Revista de Metodología de Ciencias Sociales*, n° 16, julio-diciembre, pp. 85-112.
- Levy-Carciente, S.** (2005). *Inestabilidad financiera: estudio sobre la irregularidad y la dinámica*, Caracas, Edic. FaCES-UCV.
- Levy-Carciente, S., H. Sabelli y K. Jaffé** (2004). «Complex Patterns in the Oil Market», *Interciencia*, vol. 29 (6), pp. 320-323, www.interciencia.org/v29_06/jaffe.pdf.
- Levy-Carciente, S. y K. Jaffé** (2007). «El dinero en la economía: una simulación», en *Memorias IV Jornadas de Investigación de Faces*, pp. 351-357, Caracas, UCV.
- Levy-Carciente, S., K. Jaffé, F. Londoño, T. Palm, M. Pérez, M. Piñango y P. Reyes** (2005). «Econophysics to Unravel the Hidden Dynamics of Commodity Markets», en H. Takayasu, ed., *Practical Fruits of Econophysics*, pp. 77-82, Tokio, Springer-Verlag.
- Levy-Carciente, S., M. López, J. Contreras y P. Paiva** (2011). «Escenarios del mercado petrolero global proyectados por un modelo sistémico dinámico», en Fischer, Ferenc y Domingo Lilón, eds., *Iberoamericana Quinquagesiensis*, n° 9, pp.75-96, Hungría, Centro Iberoamericano de la Universidad de Pécs, Publiikon Paidó.
- Mann, M.** (1991). *Las fuentes del poder social*, Madrid, Alianza Universidad, 2 vols.
- Mantegna, R. y H.E. Stanley** (2000). *An Introduction to Econophysics*, Cambridge, Cambridge Univ. Press.
- Minsky, H.** (1982). *Can't It Happen Again? Essays on Instability and Finance*, Nueva York, M.E. Sharpe, Inc.
- Mires, F.** (1996). *La revolución que nadie soñó*, Caracas, Nueva Sociedad.
- Prigogine, I.** (1996). *El fin de las certidumbres*, Santiago de Chile, Ed. Andrés Bello.
- Sprott, J.C. y G. Rowlands** (2003). *Chaos Data Analyser, CDA*, <http://sprott.physics.wisc.edu/cda.htm>.

Anexo

Gráfico 1
Dinámica resultante de una fluctuación del comportamiento del crecimiento de las exportaciones

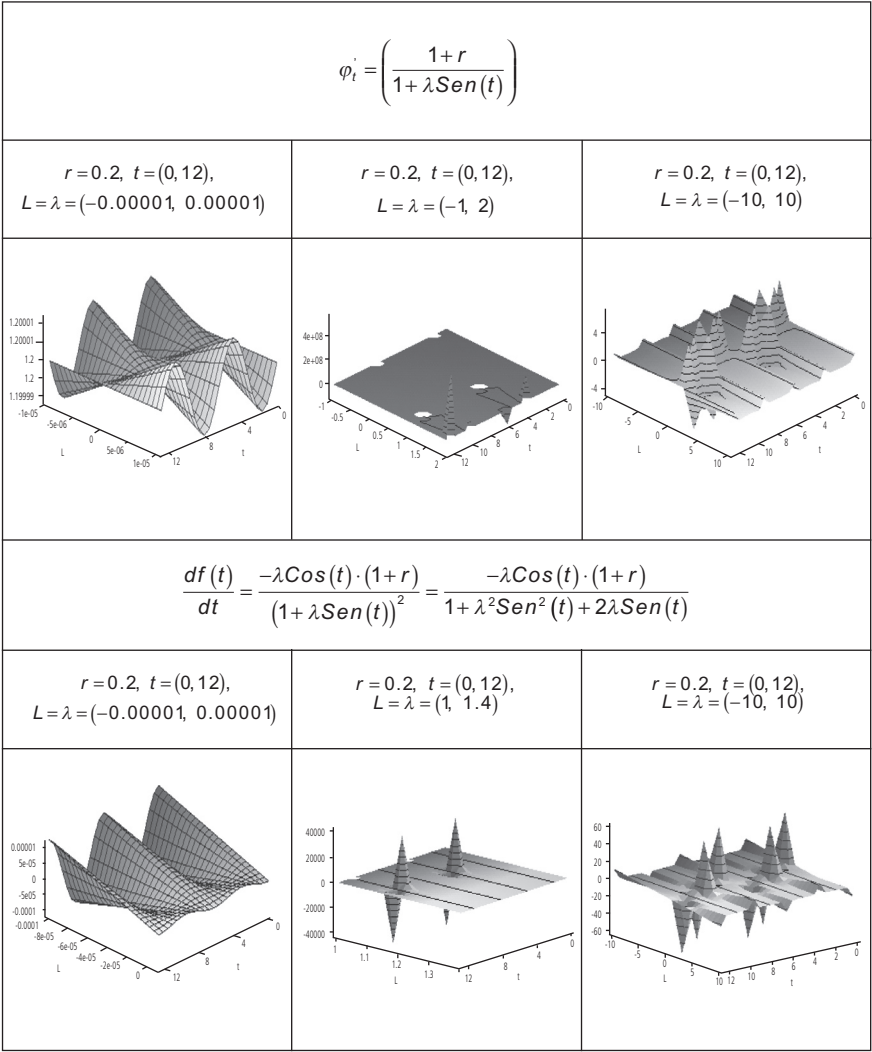


Gráfico 2

Fluctuación acompasada de la tasa de crecimiento de exportaciones y tasa de interés

$$\varphi_t = \left(\frac{1 + \gamma \text{Sen}(t)}{1 + \lambda \text{Sen}(t)} \right)$$

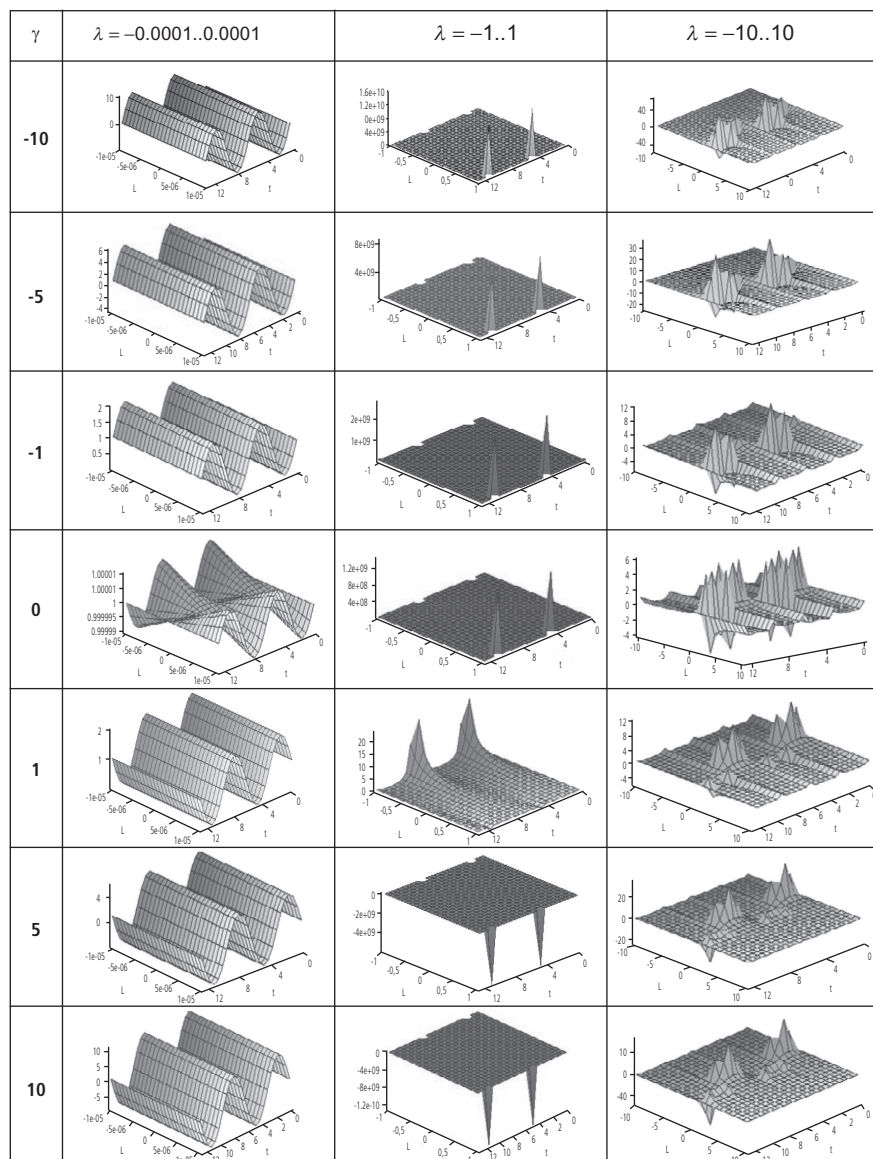


Gráfico 3
Fluctuación acompasada de la tasa de crecimiento de exportaciones y tasa de interés

$$\varphi_t = \left(\frac{1 + \gamma Sen(t)}{1 + \lambda Sen(t)} \right)$$

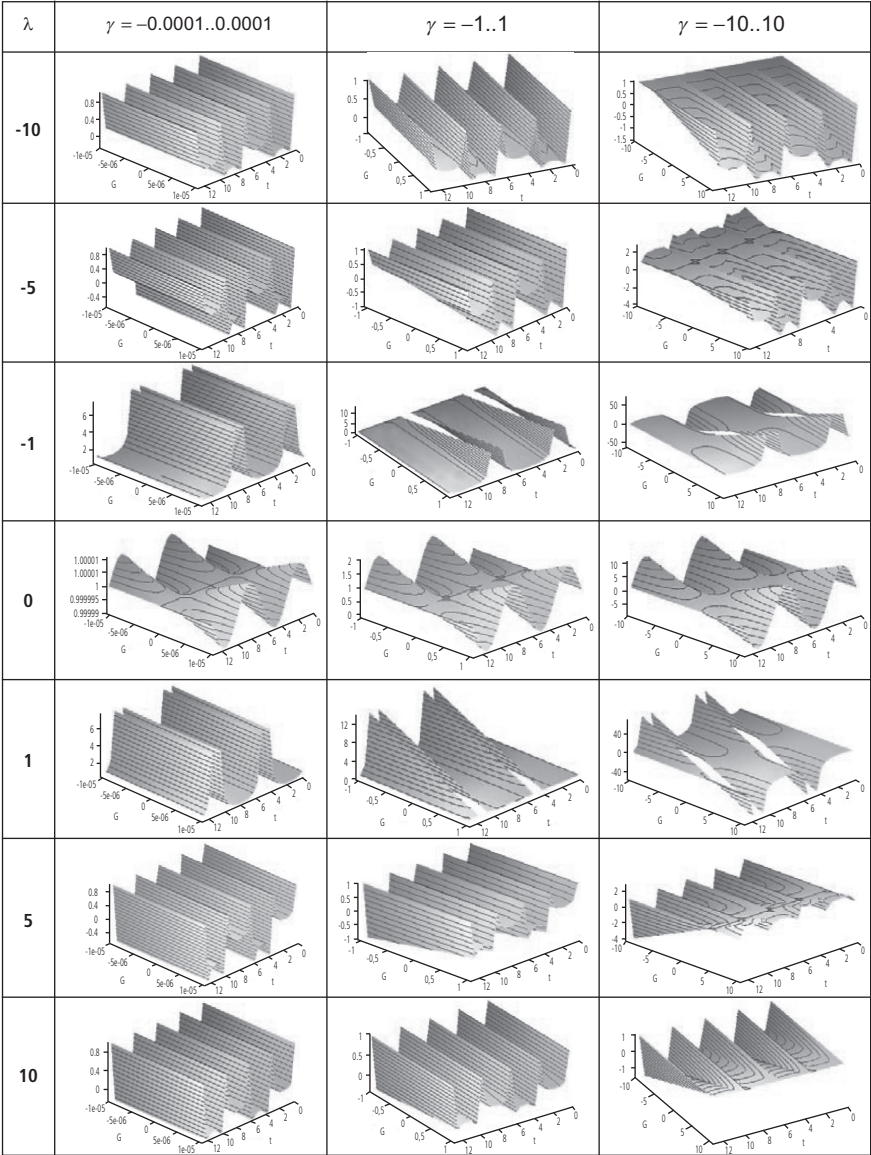


Gráfico 4

**Fluctuación desacompada de la tasa de crecimiento de exportaciones
y tasa de interés**

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{-\gamma \text{Sen}(t) - \lambda \text{Cos}(t) - \gamma \lambda}{(1 + \lambda \text{Sen}(t))^2}$$

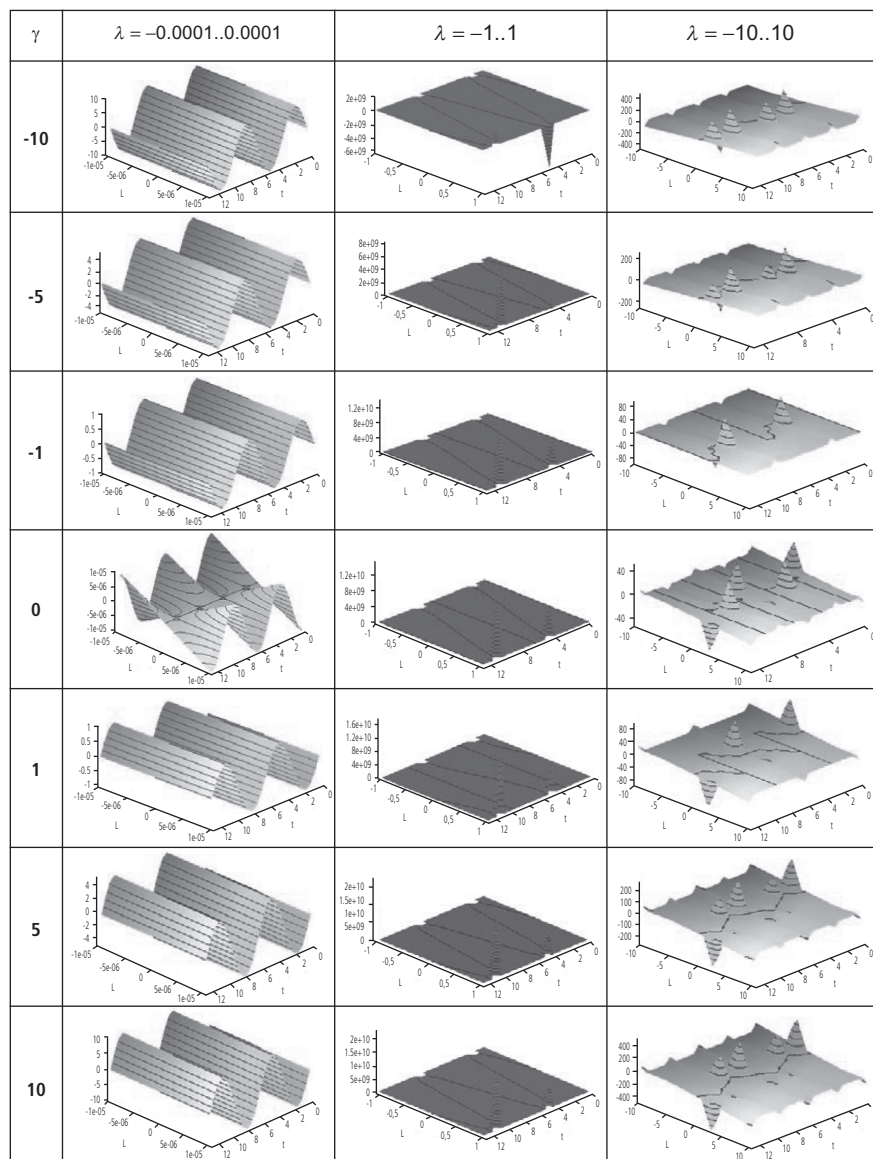


Gráfico 5
**Fluctuación desacompasada de la tasa de crecimiento de exportaciones
y tasa de interés**

$$\frac{df(t)}{dt} = \frac{-\gamma Sen(t) - \lambda Cos(t) - \gamma \lambda}{(1 + \lambda Sen(t))^2}$$

