

# La vida de la ciencia

## Economía en un mundo complejo: Encuentro entre Física y Economía en la Fundación Ramón Areces

Angel Sánchez<sup>1</sup>

Los pasados días 27 y 28 de septiembre tuvo lugar en la Fundación Ramón Areces un simposio organizado conjuntamente con la RSEF y titulado “Economía en un mundo complejo: Redes, agentes y personas”. El objeto de este simposio era mostrar cómo la frontera entre la Física y la Economía se está diluyendo cada vez más, debido a que los métodos y los conceptos de la Física se están utilizando con gran éxito en Economía, y de hecho muchos físicos están investigando en temas de interés económico y, en general, de interés en ciencias sociales; así, en España hay una red, promovida originalmente por físicos como Maxi San Miguel (IFISC, UIB-CSIC) y Albert Díaz-Guilera (UB), de investigadores de distintos campos interesados en esta fertilización cruzada que han celebrado su cuarta reunión en noviembre en Zaragoza, auspiciada por el ZCAM.

La relación de la Economía con la Física se viene desarrollando, entre otros, a través del concepto de sistema complejo y, en particular, la descripción de sistemas de “partículas” o “agentes” en interacción en redes complejas está siendo objeto de gran interés en los últimos años [7]. Las redes complejas son uno de los objetos más estudiados recientemente por la Física, sobre todo, por la mecánica estadística, y se han impuesto como un paradigma fundamental para entender sistemas de todo tipo. Como resumiré a continuación, el simposio mostró que estos trabajos están conduciendo ya a resultados de gran importancia en problemas que van desde la estabilidad del sistema bancario a la estructura de control de las grandes empresas. De esta manera, el campo de las redes complejas aparece como un terreno ideal para que la interacción entre Economía y Física dé lugar a grandes avances y a nuevos conceptos, al igual que anteriormente esta relación entre disciplinas dio lugar a las finanzas cuantitativas (popularmente, los *quants*) que, para bien o para mal, hoy son uno de los pilares del sistema fiscal y financiero internacional.

Me decía un amigo economista que le sorprendía ver en el título del simposio las palabras “agentes” y “personas” como si fueran cosas distintas, y de hecho pueden serlo sin problemas, ya que los agentes pueden ser, por ejemplo, Gobiernos o empresas. La actuación de los agentes económicos, sean éstos personas o instituciones financieras, es clave para entender el funcionamiento de este sistema complejo que es la Economía. Es, de hecho, el juego existente entre la organización de las interacciones

(redes, estructura) y las acciones de los agentes (toma de decisiones, estrategias) el que origina la enorme riqueza de comportamientos y la relación no trivial entre causas y efectos. Eso hace que sea importante abordar tanto el modelado del comportamiento de los agentes económicos como averiguar cómo es ese comportamiento a través de experimentos controlados. Estamos una vez más dentro del marco del paradigma de sistema complejo en tanto en cuanto tenemos numerosos agentes en interacción. Sin embargo, esa interacción no es la tradicional en Física, por lo que los fenómenos emergentes que aparezcan pueden no tener nada que ver con lo que esperaríamos como físicos, aunque sí es de esperar que nuestras técnicas arrojen luz sobre lo que vaya a ocurrir.

Para tratar estos temas, y gracias a la Fundación Ramón Areces y la RSEF, se reunieron nueve personas de distintas procedencias y con distintos intereses investigadores. Como veremos a continuación, entre ellos había economistas con una perspectiva mucho más próxima a la Física que la tradicional en Economía, utilizando modelos computacionales en vez de centrarse sólo en lo que se puede resolver analíticamente y en forma de teoremas (la Economía Computacional está en una situación parecida a la Física Computacional de finales de los años ochenta, en los que era despreciada frente a los trabajos analíticos y no se aceptaban artículos meramente computacionales en revistas). Había también físicos que trabajan en temas claramente de interés económico tanto desde instituciones del campo de las “ciencias duras” como desde facultades y departamentos de Economía. Finalmente, también participaba un biólogo que va a trasladarse al departamento



Fig. 1. Inauguración del simposio “Economía en un mundo complejo: Redes, agentes y personas”. De izquierda a derecha: M.ª Rosario Heras, presidenta de la RSEF; Raimundo Pérez-Hernández y Torra, director de la Fundación Ramón Areces, y Angel Sánchez, coordinador del simposio.

<sup>1</sup> Grupo Interdisciplinar de Sistemas Complejos (GISC), Departamento de Matemáticas Universidad Carlos III de Madrid e Instituto de Bio-computación y Física de Sistemas Complejos (BIFI), Universidad de Zaragoza.



Fig. 2. Foto de familia de los participantes en el simposio. De pie, de izquierda a derecha: Angel Sánchez, Fernando Vega-Redondo, Yavni Bar-Yam, Thomas Lux, Sujit Kapadia, y José A. Cuesta. Sentados, de izquierda a derecha: David Rand, Shlomo Havlin, Giulia Iori y Stefano Battiston.

de Psicología de Yale. Un abanico curioso sin duda, pero ¿qué diálogo podía haber en un grupo tan diverso?

Comencemos por la perspectiva de alguien que trabaja en un organismo regulador, como es Sujit Kapadia, del Banco de Inglaterra (aunque no representa necesariamente sus puntos de vista). Kapadia es un economista en un banco central y, sin embargo, presentó un trabajo sobre riesgo y robustez de redes financieras que parecía provenir de un físico (para una descripción detallada, véanse [1, 8]; véase también [2] para un modelo relacionado pero aún más simplificado). El objeto del estudio era introducir una perspectiva sistémica, es decir, enfocada al sistema como un todo más que a componentes individuales, en el análisis de la estabilidad financiera y en concreto centrada en el papel de los grandes bancos. Para intentar proponer medidas que un regulador podría adoptar para evitar el colapso del sistema, Kapadia introduce un modelo deliberadamente sencillo del sistema bancario que considera tres ingredientes de “contagio” entre bancos: acumulación de capital (*liquidity hoarding*, o proceso por el cual los bancos acaparan liquidez en exceso previendo posibles problemas en sus balances), participación en el accionariado de las mismas entidades y riesgos en el crédito interbancario. En una aproximación tradicional en Economía, esto está demasiado simplificado ya que no entra, por ejemplo, en cómo toman sus decisiones los bancos (planteamiento “mecanicista”, diría el economista). Sin embargo, el modelo de Kapadia tiene la virtud de mostrar claramente que los grandes bancos importan más de lo que indicaría su tamaño, ya que el impacto de su caída afecta no sólo a través de sus relaciones (conectividad en la red) sino por su efecto general sobre la confianza. Por ello, el regulador debería plantearse exigir más requerimientos de capital a los bancos grandes que a los pequeños, en vez del requisito uniforme que se impone hoy en día. Esta sugerencia conecta con las ideas de estabilidad en ecosistemas vía diversidad y con técnicas de prevención de epidemias por vacunación, conexión que Kapadia también exploró poniendo de manifiesto la potencia de esta manera de modelar “a lo físico”.

De entre los ingredientes del modelo que acabamos de describir, el problema del mercado interbancario fue abordado también por otros dos ponentes. Uno de ellos

fue Giulia Iori, física teórica que durante bastante tiempo trabajó como tal, incluyendo una estancia postdoctoral en el Departament d'Estructura i Constituents de la Matèria de la Universitat de Barcelona, y que hoy está en el Department of Economics de la City University de Londres. La otra charla sobre este tema la impartió un economista, Thomas Lux, de la Universität Kiel, que también trabaja en la Universitat Jaume I de Castelló con una cátedra del Banco de España. Ambas ponencias versaron sobre el análisis de datos reales de préstamos interbancarios obtenidos del organismo e-MID, utilizando distintos procedimientos, con la intención de entender la dinámica del sistema (básicamente ausente en la aproximación de Kapadia). Éste fue un tema recurrente en el simposio ya que, como veremos más adelante, también aparece como un factor clave en la evolución de la cooperación. Y, por supuesto, muy físico en espíritu, ya que parte del reconocimiento de que las escalas de tiempo en que ocurren las cosas pueden afectar a un sistema de manera diferente a lo que se espera de una aproximación “más adiabática”. Las conclusiones del análisis de datos presentado por estos investigadores son de nuevo muy relevantes para posibles medidas de política económica. Así, Iori discutió diversos indicadores de alerta temprana [13,14] ante posibles colapsos del mercado interbancario y puso de manifiesto que es clave entender cómo se establecen y cambian las relaciones entre bancos (o sea, por qué el banco A elige al banco B como la otra parte de una operación de préstamo y por qué cesa la relación). Es decir, hay que entender cómo es la interacción estratégica (orientada a un fin individual) entre las entidades que forman nuestro sistema, que, como decía más arriba, no es la tradicional en Física (ésta sería, por ejemplo, la que tiende a minimizar un hamiltoniano, cantidad global). Por su parte, Lux analizó la estructura de la red y mostró que es de tipo núcleo-periferia [18], siendo el núcleo un subconjunto de bancos (en torno al 28 % de las entidades estudiadas, bajando al 23 % tras la crisis) muy conectados entre sí que ejercen un papel de intermediario, es decir, tanto prestan como piden prestado dinero en el mercado interbancario. El trabajo de Lux además avala la importancia de uno de los mecanismos incluidos en el modelo de Kapadia, ya que deja claro que la reducción de la actividad en el mercado interbancario tras el estallido de la crisis se debió al núcleo del sistema, en el que los bancos terminaron con muchas de sus relaciones y se centraron en acumular capital.

El esquema núcleo-periferia aparece también en el análisis de la estructura de propiedad de las grandes corporaciones a nivel global, según se desprende del trabajo de otro de los participantes en el simposio, Stefano Battiston, físico de la Chair of Systems Design del ETH de Zürich. Este trabajo [21], uno de los más descargados de todos los publicados en la revista *PLOS ONE*, tuvo gran repercusión en su momento ya que su conclusión fundamental era que existe un núcleo de grandes empresas, en las que directa o indirectamente todas se poseen entre sí, que domina de manera muy clara la estructura de propiedad, algo que plantea cuestiones muy serias tanto en términos de estabilidad de los mercados como en términos de si es permisible tal acumulación de poder. En su presentación en el simposio, Battiston mencionó estos trabajos (así como los relacionados [3, 17]), pero su aportación siguió en la línea de entender la importancia

de unas entidades frente a otras, para lo que presentó DebtRank, una especie de Google PageRank que se aplica a redes financieras en vez de a la WWW. Usando datos de la Federal Reserve de Estados Unidos, Battiston planteó que puede ser necesario superar el paradigma de “demasiado-grande-para-quebrar” y pasar al de “demasiado-central-para-quebrar”. Esa idea de centralidad, que viene de la Sociología y del análisis de las redes sociales de los años sesenta del siglo pasado, y que hoy es una de las magnitudes que más manejan los físicos que trabajan en redes complejas, aparece porque las entidades que necesitaron ayuda de la FED no fueron las más grandes sino las que se encontraban, una vez más, en una especie de núcleo, entre las más centrales de la red. Otra de las implicaciones de esta investigación para los organismos reguladores es que el sistema financiero puede ser también vulnerable ante la caída de varias entidades relativamente pequeñas si se produce de manera sincronizada y si su centralidad es alta.

Como vemos, la idea de red, de red compleja, subyace a buena parte de la discusión sobre la estabilidad del sistema bancario/financiero, las estrategias para detectar debilidades y su plasmación en políticas regulatorias. Pero puede ser preciso ir más allá de este paradigma y plantearse qué ocurre cuando se tienen redes interconectadas. Ése fue precisamente el tema abordado por un físico estadístico bien conocido como Shlomo Havlin, del Departamento de Física de la Universidad Bar-Ilan, en Israel. Havlin, cuyo “pedigrí” como físico es cualquier cosa menos dudosa, abordó el problema de redes diferentes pero interconectadas en las que la desaparición de un nodo en una de ellas afecta a las demás [5, 9, 16]. Esto introduce una recursividad en el sistema, ya que los nodos afectados de otra red pueden a su vez causar el fallo de otros nodos de la red donde comenzó el problema, lo que puede llevar a una cascada de fallos y a una fragmentación repentina del sistema. La contribución de Havlin muestra una nueva faceta de la colaboración entre la Economía y la Física: si bien el estudio estaba motivado originalmente por el apagón ocurrido en Italia el 28 de septiembre de 2003, en el que la caída de la red eléctrica originó desconexiones de nodos de Internet que a su vez causaron apagones en otras centrales de las que se perdió el control, también contribuye a la Física, digamos, tradicional, en lo tocante al estudio de las transiciones de fase. En este sentido, el estudio del modelo de Havlin y colaboradores cuando hay muchas redes interconectadas

muestra fenómenos nuevos que no aparecían en la teoría clásica de percolación. Por ejemplo, la desaparición de una fracción de los nodos de una red, que sólo causaría pequeños daños, puede causar una transición de fase discontinua en el sistema de  $n$  redes debido a ese proceso de fallos en cascada. Además, el carácter discontinuo depende del acoplamiento entre redes de una manera no trivial.

El simposio contó asimismo con la participación del New England Complex Systems Institute, cuyo fundador y director, Yaneer Bar-Yam, no pudo viajar a Madrid pero estuvo representado por su hijo y colaborador Yavni Bar-Yam. También de formación física, estos investigadores se centraron más en el papel de los reguladores que en la estructura de las redes en sí, teniendo en cuenta el tipo de fallos en cascada que también trató Havlin, como acabamos de ver. Combinando análisis de datos y modelos sencillos, los Bar-Yam concluyen [15] que la desregulación ocurrida en los Estados Unidos en los últimos tiempos es una de las causas más importantes de la actual crisis de los mercados. Su trabajo sugiere que las áreas principales donde esto ha causado problemas son las desregulaciones bancarias, del mercado de futuros, del mercado de valores y de las ayudas al etanol y otros biocombustibles. Dando un paso más allá, utilizan sus modelos para intentar predecir desórdenes sociales, basándose en la correlación entre los precios de los alimentos de primera necesidad y los disturbios en distintos países, llevando de esta manera sus conclusiones de un campo meramente económico a un ámbito más social, es decir, un trabajo plenamente “econosociofísico”.

Y, de esta manera, entramos poco a poco en la vertiente más social del simposio, sin abandonar por supuesto esa perspectiva de combinación de economía y complejidad que era el tema común a todas las presentaciones. Otro economista, en este caso un español de gran prestigio internacional, pionero en la investigación de redes en Economía y curtido en la colaboración interdisciplinar con físicos [20], Fernando Vega-Redondo, introdujo las redes sociales como fuente de valor en sistemas económicos. Su trabajo es particularmente interesante como muestra de planteamiento de estilo físico: partiendo de una perspectiva teórica, se aproxima a la situación real que pretende describir, hace predicciones concretas y termina por proponer un experimento para comprobarlas. O sea, el método de la Física, ni más ni menos. Vega-Redondo trató varios aspectos en los cuales las redes sociales pueden dar lugar a valor económico, comenzando por los agujeros estructurales (o enlaces débiles en la terminología del sociólogo Granovetter): personas que sirven de conectores entre grupos de ámbitos distintos y que, por tanto, juegan un importante papel no sólo en la difusión de información (con relevancia, por ejemplo, para el llamado marketing viral) sino en la red de colaboraciones o empresas conjuntas. Ambos aspectos, marketing viral y colaboración en I+D, fueron también objeto de análisis específicos, terminando por tratar el problema de la globalización económica a través de un modelo simplificado, una vez más muy cercano al espíritu de la Física, en el que estudiaba el efecto de la geografía y comparaba su influencia en la globalización con la distancia social. Este último aspecto es el que da lugar a predicciones sobre cómo puede impulsarse la innovación y para ello presentaba [6] el diseño de un experimento (de



Fig. 3. Stefano Battiston, durante su presentación.



Fig. 2. El equipo que llevó a cabo los experimentos a gran escala presentados por José A. Cuesta (cuarto por la derecha), tras su realización en Zaragoza el 20 de diciembre de 2011.

los que los economistas llaman “de campo”, es decir, en la vida real y no en un laboratorio con ordenadores) que se está preparando en Ghana para explorar las posibilidades de mejorar la vida de las comunidades de ese país introduciendo TIC como medio de comunicación entre aldeas aisladas.

Finalmente, y conectando con lo que he mencionado más arriba sobre la importancia de entender la interacción entre los agentes del sistema, las presentaciones de José A. Cuesta y David Rand indagaban sobre los motivos que llevan a las personas a cooperar entre ellas. Es claro que entender el origen de la cooperación es un problema de primera magnitud y que sobre todo es necesario averiguar, desde la perspectiva de las sociedades humanas, cuáles son los mejores mecanismos para promover la cooperación. Las charlas de ambos investigadores versaron sobre el dilema del prisionero: un modelo clásico de la teoría de juegos en el que dos personas deben decidir si cooperan o no, sabiendo que la cooperación mutua les producirá un beneficio, pero con la tentación de que traicionar a la otra parte se lo producirá aún mayor (dañando considerablemente al traicionado). Esa tentación da lugar a que lo mejor desde el punto de vista individual sea la traición, pero al traicionarse mutuamente ambos individuos pierden el beneficio de la cooperación, dando lugar al dilema. El trabajo de Cuesta, físico en el Departamento de Matemáticas de la Universidad Carlos III de Madrid, y sus colaboradores, entre los que tengo la suerte de contarme, trata del caso en el que el dilema del prisionero se juega en una red, y cada persona debe decidir si coopera con, o traiciona a, todos sus vecinos, siendo la decisión la misma para todos. Dado que los modelos de este sistema dan resultados poco o nada universales, ya que dependen de cómo se introduzca la interacción entre los jugadores (o, en otras palabras, su proceso de toma de decisiones), Cuesta mostró resultados de experimentos a gran escala, incluyendo cientos de personas jugando simultáneamente, que permiten deducir de qué manera se comporta la gente ante este problema. Esa gran escala es algo completamente novedoso desde el punto de vista experimental, donde los experimentos se limitan a grupos de unas pocas decenas de personas, y de nuevo aporta una perspectiva física, ya que si jugar en una red fuera favorable a la cooperación lo sería porque habría cooperadores agrupados en ella, y eso sólo se puede ver si la red es lo

suficientemente grande. El trabajo se desarrolló también de acuerdo al esquema teoría-predicciones-experimentos: se hizo un primer experimento con 169 [12] personas en un retículo cuadrado, se dedujo cómo interaccionaban, se incluyó esa interacción en un modelo sencillo sobre redes generales, se predijo que el resultado no dependería de la red [10], y se hizo un experimento mayor con 1.229 personas en un retículo y en una red heterogénea, que confirmó la predicción [11]. Gracias a estos experimentos, hoy sabemos que las redes no fomentan la cooperación, lo que cierra una cuestión que había dado lugar a centenares de artículos en revistas de Física en los últimos años, y además sabemos que la gente coopera en función de la cooperación que recibe, pero también en función de su decisión anterior, es decir, de su estado de ánimo.

En la misma línea, el biólogo del Program for Evolutionary Dynamics de la Harvard University, David Rand, discutió experimentos similares pero en los que los participantes tienen la posibilidad de cortar sus enlaces y buscar conectarse a otras personas. Este trabajo [19], al igual que otros experimentos similares que se han llevado a cabo en 2011 y 2012, sugiere con bastante fundamento que esa posibilidad sí puede dar lugar a cooperación, sobre todo cuando la posibilidad de cambiar las conexiones es alta (en los experimentos en que la red se mantenía fija al igual que en el párrafo anterior o sólo se podía cambiar la conexión muy de vez en cuando no se observaba cooperación). Rand habló también de cómo el riesgo da lugar de hecho a un



Fig. 5. David Rand en la Fundación Ramón Areces.



Fig. 6. Miembros de la Red Española de Ecosociofísica, en los yacimientos de Atapuerca, en la clausura de su tercer encuentro en Burgos, junio de 2011.

dilema del prisionero, poniendo en un mismo marco estos trabajos con los comentados antes: las decisiones sobre la minimización del riesgo individual pueden llevar a incrementar el riesgo sistémico [4], es decir, cooperar puede ser entendido como asumir un riesgo mayor a nivel personal para disminuir las probabilidades de un colapso sistémico que afectaría a todos, y por tanto es una decisión extraordinariamente difícil.

Se cerraba de esta manera un círculo que unía los temas centrales del simposio: las redes y su efecto sobre el riesgo y las decisiones, la importancia de los modelos sencillos y su poder predictivo, la necesidad de introducir la dinámica para dar más realismo a la investigación, la disponibilidad de grandes cantidades de datos y de técnicas para analizarlos, y las peculiaridades de las interacciones entre personas o agentes en general que tienen una visión estratégica, es decir, que persiguen una meta determinada. Temas todos ellos en los que la Física, desde planteamientos que a mi modo de ver complementan pero no sustituyen (ni aspiran a hacerlo) a los de la Economía tradicional, tiene mucho que decir, y que son claves de cara a un objetivo de interés común: entender el sistema complejo que es la Economía, cada vez más integrada con aspectos sociales, para de esa manera contribuir a mejorar la vida de todos. A esto aspiran proyectos como FuturICT (<http://www.futurict.es>), que se presentan a la convocatoria de proyectos “insignia” europeos para entender la sociedad a nivel global como un sistema complejo, integrando modelado, datos, simulaciones y participación ciudadana bajo la dirección de un físico que ocupa una cátedra de Sociología en el ETH de Zúrich como es Dirk Helbing. Obviamente, este simposio no habrá conseguido solucionar nada con efectos inmediatos, pero creo que sí ha contribuido a que crezca en la comunidad científica y en el público en general el convencimiento de que hay que romper barreras, que hay que evitar la compartimentalización, y de que los avances sólo se producen por la interacción entre disciplinas. La Física viene haciendo esto con considerable éxito en los últimos tiempos, avanzando a la vez que ayuda a otros a avanzar como hemos visto. Pero para ello es necesario adoptar una actitud humilde y no caer sobre otros campos como elefante en cacharrería como dice Duncan Watts (otro físico metido a sociólogo y

trabajando para Microsoft Research) y hablar con la gente de otras disciplinas para saber cuáles son los problemas que les preocupan en vez de dedicarse a hacer “modelos de juguete”. Ojalá que economistas, científicos sociales y físicos (y quiénes quieran participar desde otras disciplinas) seamos capaces de seguir avanzando en esta dirección.

## Referencias

- [1] ANAND, K., GAI, P., KAPADIA, S., BRENNAN, S. y WILLISON, M.: *A network model of financial system resilience*. Bank of England Working Paper no. 458 (2012).
- [2] ARINAMINPATHY, N., KAPADIA, S. y MAY, R.: *Size and complexity in model financial systems*. Bank of England Working Paper no. 465 (2012).
- [3] BATTISTON, S., GATTI, D. D., GALLEGATI, M., GREENWALD, B. C. N. y STIGLITZ, J. E.: “Liaisons Dangereuses: Increasing Connectivity, Risk Sharing, and Systemic Risk”, *Journal of Economic Dynamics and Control* (en prensa, 2012).
- [4] BEALE, N., RAND, D. G., BATTEY, H., CROXSON, K., MAY, R. M. y NOWAK, M. A.: “Individual versus systemic risk and the Regulator’s Dilemma”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 31 (2011), 12647-12652.
- [5] BULDYREV, S. V., PARSHANI, R., PAUL, G., STANLEY, H. E. y HAVLIN, S.: “Catastrophic cascade of failures in interdependent networks”, *Nature*, 464, 08932 (2010).
- [6] DUERNECKER, G. y VEGA-REDONDO, F.: *Social networks, institutions, and the process of globalization (preprint, 2010)*.
- [7] FARMER, J. D. y LUX, T. (editores invitados): “Special issue on Statistical Physics Approaches in Economics and Finance”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 38 (2008).
- [8] GAI, P. y KAPADIA, S.: “Contagion in Financial Networks”, *Proceedings of the Royal Society A*, 466, núm. 2120 (2010), 2401-2423.
- [9] GAO, J., BULDYREV, S., STANLEY, H. E. y HAVLIN, S.: “Networks formed from interdependent networks”, *Nature Physics*, 8 (2012), 40-48.
- [10] GRACIA-LÁZARO, C., CUESTA, J. A., SÁNCHEZ, A. y MORENO, Y.: “Human behavior in Prisoner’s Dilemma experiments suppresses network reciprocity”, *Scientific Reports*, 2, núm. 325 (2012).
- [11] GRACIA-LÁZARO, C. et ál.: “Heterogeneous networks do not promote cooperation when humans play a Prisoner’s Dilemma”, *Proceedings of the National Academy of the USA*, 109 (2012), 12922-12926.
- [12] GRUJIC, J., FOSCO, C., ARAUJO, L., CUESTA, J. A. y SÁNCHEZ, A.: “Social experiments in the mesoscale: Humans playing a spatial Prisoner’s Dilemma”, *PLOS ONE*, 5, núm. 11, e13749 (2010).
- [13] HATZOPOULOS, V. y IORI, G.: “Information theoretic description of the e-Mid interbank market: implications for systemic risk”, *e-journal Economics, special issues on Coping with Systemic Risk* (en prensa, 2012).
- [14] IORI, G., MASI, G. DE, PRECUP, O., GABBI, G. y CALDARELLI, G.: “A network analysis of the Italian Overnight Money Market”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32, (2008), 259-278.
- [15] LAGI, M., BAR-YAM, Y., BERTRAND, K. Z. y BAR-YAM, Y.: *The Food Crises: A Quantitative Model of Food Prices Including Speculators and Ethanol Conversion* [en línea], arXiv:1109.4859,

- <http://necsi.edu>, 2011 [actualización de 23 de julio de 2012].
- [16] LI, W., BASHAN, A., BULDYREV, S., STANLEY, H. E. y HAVLIN, S.: "Cascading Failures in Interdependent Lattice Networks: The Critical Role", *Physical Review Letters*, 108, 228702 (2012).
- [17] LORENZ, J., BATTISTON, S. y SCHWEITZER, F.: "Systemic Risk in a Unifying Framework for Cascading Processes, Networks", *European Physical Journal B*, 71 (2009), 441-460.
- [18] LUX, T. y STOLZENBURG, U.: "Identification of a Core-Periphery Structure Among Participants of a Business Climate Survey", *European Physical Journal B*, 84 (2011), 521-533.
- [19] RAND, D. G., ARBESMAN, S. y CHRISTAKIS, N. A.: "Dynamic networks promote cooperation in experiments with humans", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 108 (2011), 19193-19198.
- [20] SCHWEITZER, F., FAGIOLO, G., SORNETTE, D., VEGA-REDONDO, F., VESPIGNANI, A. y WHITE, D. R.: "Economic networks", *Science*, 325 (2009), 422-425.
- [21] VITALI, S., GLATTGELDER, J. B. y BATTISTON, S.: "The Network of Global Corporate Control", *PLOS ONE*, 6, núm. 10, e25995 (2011).



Angel Sánchez,  
Grupo Interdisciplinar  
de Sistemas Complejos  
(GISC), Departamento  
de Matemáticas  
Universidad Carlos III  
de Madrid e Instituto de  
Biocomputación y Física  
de Sistemas Complejos  
(BIFI), Universidad de  
Zaragoza