

ECONOMÍA Y BIOLOGÍA: ENDOSIMBIOSIS

Isabel De Val Pardo

Catedrática de Organización de Empresas. Universidad Pública de Navarra

RESUMEN

El artículo sostiene la relación endosimbiótica entre la Economía y la Biología, sin incurrir en la generalización o extensión de tópicos, métodos o técnicas, pues lo económico es intrínseco en el proceso de la evolución de los organismos en la naturaleza. La singularidad del texto radica en aludir los aspectos económicos en el origen (“*la vida se basa en copiar cosas, en aprovechar soluciones existentes*”, Sampetro, 2002: 142), desde los organismos más primitivos en la naturaleza a los más evolucionados, donde subyace la interacción y la utilidad.

1. INTRODUCCIÓN

Gary Becker (1998) hace un breve recorrido de las definiciones de la Economía, aceptadas y dadas en algunas disciplinas, si bien estima que ninguna dice nada sobre qué es el enfoque económico -particularmente poderoso- porque puede integrar un amplio rango de manifestaciones de la conducta humana; sus aportaciones destacan por el enfoque económico de la conducta humana ya que se rige por el coste-beneficio, la utilidad esperada, el valor presente de los ingresos futuros, el coste de oportunidad, la aversión al riesgo y los juegos, sean cooperativos o no.

La Economía se ha tratado como ciencia de vida (Daly, 1968), desde el punto de vista biológico (Hirshleifer, 1977), o como ciencia que aborda las bases biológicas del comportamiento económico (Robson, 2001); estas y otras referencias equiparan la Economía con la Biología, lo que supone comparar una ciencia social a una básica cuando ésta, trata de incrementar el conocimiento de los principios fundamentales de la naturaleza o de la misma realidad sin fines prácticos inmediatos, y aquella, está relacionada con los comportamientos humanos con ánimo de sobrevivir, prosperar y funcionar al satisfacer las necesidades con los recursos limitados del entorno.

El énfasis de tal asimilación se concreta en metáforas (Vukicevic-Dordevic, 2014), analogías (Boulding, 1950; Penrose, 1952; Alchian, 1953; Hirshleifer, 1978; Longstaff, 1998; Zawojnska y Siudek, 2016) y aseveraciones rotundas (Marshall, 1954); los argumentos son dispares, interesados y a la par de los tiempos. Las discrepancias afloran entre los defensores que establecen comparaciones, semejanzas, interacciones, complementariedad y generalizaciones, *mutatis mutandis*, por mero *divertimento* o en aras de una parcela de conocimiento; y los que piden cautela al acogerse a cuestiones dispares (Becker, 1976; Hodgson, 1997).

Es bien sabido que la Economía no proporciona predicciones válidas, no produce leyes como las ciencias básicas, sea la Física o la Biología, ya que no puede experimentar; como apunta Tortella (1994), “*los economistas cuentan historias con muchas matemáticas y estadísticas, pero historias*”. Gorgescu-Roegen (1977:13-21) ya apuntó, que “*la ciencia económica se ha convertido en el lugar de juego de muchos, interesados principalmente en ejercicios matemáticos sin relevancia más allá del*

papel en el que se hacen. El resultado final es que las matemáticas han alejado casi totalmente a la economía de la verdadera tarea de pelearse a brazo partido con los hechos”.

La relación, histórica, de la Economía con la Biología ha tenido distintas vías, desde mediados del s. XIX a raíz de la Teoría de la Evolución, con el precedente desde la Física de la “Fábula de las Abejas” de Mandeville en 1714, que iniciaba el uso de formas retóricas entre estas disciplinas. En los últimos tiempos el debate gira, entre otras cosas, en torno al vínculo entre la Sociobiología y la Biología (Hirshleifer, 1977), al análisis conjunto de términos (Hammerstein y Hagen, 2005), a trasladar las bases biológicas del comportamiento humano a las acciones y relaciones (Bainbridge, 2003), a la dependencia de las decisiones de los factores psiconeurobiológicos (Rizello, 2003), a propuestas de generalización a modo de unificación entre la Biología y la Economía (Aldrich *et al.*, 2008), también se ha procurado el desarrollo conjunto de biólogos y economistas (Pine *et al.*, 2009; Krajbich *et al.*, 2009), pero se ha obviado la Teoría de la Endosimbiosis seriada de Margulis publicada en 1967.

Puede decirse que la relación parte de dicha fábula y los cuentos de Harriet Martineau, quién publicó entre 1832 y 1834 unas novelas económicas en las que por medio de relatos exponía la economía clásica, así, por medio de la narrativa presentó los principios que rigen el funcionamiento de la Economía Política para que fueran próximos y asequibles a cualquier ciudadano por el impacto en su vida cotidiana: quería transmitir sus principales verdades de manera eficiente, sistemática, clara y fiel (Martineau, 2013), ya que la Riqueza de las Naciones de Smith no estaba elaborada ni diseñada para la mayoría de la gente. Para doctos, la metáfora de la “mano invisible” de Adam Smith resuelve que la evolución biológica no necesita de un ser creador (Robson, 2001), incluso Darwin identifica una forma de selección sin intervención humana (Coen, 2013), o el éxito reproductivo que facilita la selección natural tiene lugar de manera similar a la maximización del beneficio (Alchian, 1950).

El enredo puede que sea ímprobo, desde la percepción de la racionalidad del sujeto decisor a partir de Adam Smith (Hurtado y Mesa, 2010); lo dicho en 1850 por Marshall (1954), “la Economía es una rama de la Biología ampliamente interpretada ... la Economía no tiene un parentesco próximo con cualquier ciencia física ... la Biología trata de una materia cuya naturaleza y constitución interna, así como su forma externa, están cambiando constantemente”; a Karl Popper (Mosterin, 2013:278), para quién el principio básico de la teoría darwiniana (dados distintos progenitores, aquellos mejor adaptados al entorno tienen una probabilidad mayor de que la descendencia sobreviva), es algo “*trivial, casi lógico; ... es una teoría lógica y especulativa pero muy convincente; ... no ha sido refutada, ... carece de alternativas*”.

Mora (2018:148), apuntilla que “*el conocimiento científico no es nada cierto, sino conjeturas con las que tratamos de acercarnos a una mejor verdad. Nos lleva por el único camino posible que nos permite vivir mejor y acercarnos a una mejor verdad*”. Así, en el intento de contribuir a la cuestión, este artículo se sustenta en lo que la Biología entiende por endosimbiosis, para establecer la vinculación entre las dos ciencias -si se admite la Economía como tal- y poder afirmar que la relación entre ambas es endosimbótica, es decir, que una queda interiorizada en la otra, pues lo económico es intrínseco en el proceso de la evolución de los organismos de la naturaleza.

2. PUNTO DE PARTIDA

La Biología y alguna de las subramas estudian la división del trabajo en los organismos endosomáticos, la eficacia, la eficiencia, la cooperación, la competencia, la racionalidad, el egoísmo, el altruismo, el entorno y la adaptación al mismo o la moralidad, lo que pudo ocasionar la analogía, desde esta ciencia con la Economía (Ghiselin, 1978), que identifica un grueso de conocimiento bajo el epígrafe “economía natural” que asimila a la biología, y se coordina con otro denominado “política económica” los cuales, tomados conjuntamente conforman una rama de conocimiento que debe denominarse “economía general”. Esta relación la califica Hirshleifer (1978) de “interpretación

excitante” y desde la Economía fija los conceptos fundamentales comunes en las dos disciplinas al desempeñar roles similares en los sistemas económicos y biológicos, como son la escasez, la competición, el equilibrio y la especialización; también establece las siguientes similitudes: especies/industrias, mutación/innovación, mutualismo/intercambio y, evolución/progreso.

Según Ghiselin (1978:233) “*con las generalizaciones de la Biología a la Economía se gana ventaja*” y las interacciones factibles (Longstaff, 1998:10), en el sistema biológico (competición, depredación, parasitismo, comensalismo, mutualismo y protooperación) se pueden confrontar con las que se dan en el económico (confianza, colaboración, participación, cooperación y competencia); pero no todo lo biológico explica el comportamiento humano y la organización social (aunque en animales y plantas se observa un comportamiento económico racional por patrones de respuestas hereditarios).

Desde Darwin la historia de la vida no se entiende sin que muchas de las especies se valieran unas de otras al ser imprescindible para la existencia de distintos niveles de organización en el proceso evolutivo; se observa desde la cooperación de los genes en los genomas, los cromosomas en las células eucariotas y las células en los organismos pluricelulares. Según Margulis (2002), las células evolucionan a una estructura compleja, es decir, de procariotas (sin núcleo) a eucariotas (células con núcleo); como dice Damasio (2010:64), “*los componentes separados de una célula eucariota convergieron y se asociaron con criaturas individuales más simples, a saber, las bacterias que renunciaron a su estatus independiente para formar parte de un nuevo agregado idóneo*”.

El inicio de tal fenómeno supuso que dos especies pasaran de la coexistencia a la asociación, es decir, de la simbiosis a la endosimbiosis al quedar una interiorizada en la otra. La endosimbiosis es una variedad de simbiosis o tipo de interacción mutualista, en la que la relación entre dos especies que participan en la misma es muy duradera al quedar una interiorizada en la otra: el simbiote vive en el interior de las células del anfitrión o en el espacio entre estas.

3. LO ECONÓMICO EN LA EVOLUCIÓN DE LA NATURALEZA

El proceso biológico de la endosimbiosis permite afirmar que la Economía está interiorizada en la Biología por su relación endosimbiótica, ya que en el proceso de la evolución de los organismos de la naturaleza está presente la eficacia, un logro sujeto al binomio placer-dolor o recompensa-castigo, y un resultado fruto del balance coste-beneficio. El estudio de la naturaleza y su evolución permite, gracias al lenguaje hablado articulado de los humanos, denominar tópicos y procesos de los organismos vivos y conformar un glosario de términos que se ceden y extienden (Longstaff, 1998); así, la Biología muestra las cuestiones económicas en la evolución de la vida de los organismos.

La endosimbiosis seriada (Margulis, 2002), ha sido apoyada y rechazada; en la actualidad no se acepta en su totalidad al estimarla contradictoria con la denominada “síntesis evolutiva moderna” o paradigma neodarwiniano, que de manera general sostiene que el proceso evolutivo de la vida es gradual, con mutaciones aleatorias, por azar o errores genéticos dados por la selección natural. Margulis no cuestiona la selección natural aunque estime que el origen de la célula eucariota se debe a un suceso brusco, altamente creativo pero materialista, ciego y mecánico (Sampedro, 2002), ya que considera necesarias las relaciones simbióticas para que afloren nuevas especies vía simbiogénesis de organismos, principalmente de bacterias; de aquí una de sus ideas prevalentes: que los organismos no sólo compiten sino buscan sobrevivir, y la necesidad de tal logro requiere de otros. Las bacterias, al estar dominadas por la supervivencia, se unen a otras siempre que compartan su objetivo.

Las bacterias ofrecen la forma más primitiva de vida, son “organismos muy inteligentes” (Damasio, 2018), al percibir las circunstancias y reaccionar de manera ventajosa en la continuidad de su vida. Según Briones *et al.* (2016:322-339), se desconoce los caminos evolutivos de las eucariotas, complejos e intrincados -basados en el tanteo y error por necesidad o fruto del azar- que la evolución

siguió para construir las entidades biológicas, sujetas al escrutinio de la selección natural, ya que no hay evidencia directa de todas las variaciones producidas hasta la denominada “explosión cámbrica”, y los restos fósiles han permitido identificar organismos pluricelulares extinguidos y proseguir la identificación de la población de los mares que facilita la trayectoria evolutiva hasta los primates. Las especies son fruto de la interacción con los organismos vivos circundantes, al establecer relaciones ecológicas complejas.

La línea general sobre la evolución de las especies enfatiza la lucha en las mismas, como mecanismos de especialización y evolución, de aquí la consideración de supervivencia y perpetuación de los más fuertes al favorecerles los cambios en sus genes, que les hace más aptos. Los individuos mejores adaptados a los entornos cambiantes son los que sobreviven al ser competentes dada su oportunidad y adecuación: hay selección natural y la cuestión estriba (Damasio, 2010:80), en “*saber si la selección ha actuado sobre los genes o bien sobre los organismos en su conjunto, o sobre grupos de individuos o sobre todos ellos*”. En los procesos de evolución de genes, individuos y especies hay selección natural, incluso sin lucha gracias al diálogo y cooperación entre los componentes, incluso los acontecimientos relevantes se deben a otras fuerzas de la naturaleza (Sampedro, 2002; Tudge 2014).

La evolución, de manera casual o causal, tiende al equilibrio por medio de la homeóstasis y en la adaptación a las circunstancias tiene lugar la selección natural y en tal dinámica se ocasionan distintas acciones económicas. La supervivencia de los organismos supone alcanzar una meta y es el proceso homeostático el que contrarresta la tendencia al desorden y facilita la estabilidad (Damasio, 2010:79-81; Fuster, 2014:45), pero no es suficiente en los sistemas vivos dotados de sistema nervioso complejo, y es su homeodinámica (Damasio, 2018:79-80) la que les proporciona atender la complejidad y conjugar comportamientos que afronten estados estacionarios y otros de carácter emergente (Lloyd, Aon y Cortassa, 2001) de tipo cuantitativo o cualitativo sin que sean excluyentes.

En la selección natural, el más apto no designa al que sobrevivirá en una población de individuos. Según Coen (2013), ajusta el organismo a su entorno: favorece las peculiaridades que incrementarán la reproducción y la supervivencia; y se ocupa del éxito relativo de los individuos dentro de una misma población, no de su abundancia absoluta. La supervivencia del más apto (Stevenson et al., 2018:340-341) sugiere que aquellos que sobreviven y se reproducen mejor son “*los mejores en un sentido amplio*” al introducir un sesgo en la competencia por los recursos limitados: es mera eficacia biológica (*fitness*) pues al ajustarse al entorno se ocasiona el éxito de supervivencia y no su abundancia.

Los “seres biológicamente eficaces” (Rodríguez Valls, 2017:132-133), son aquellos seleccionados por la naturaleza por su funcionalidad en el medio en que viven, por tanto son capaces de transmitir mejor la vida (sus genes) que otros individuos que no lo son. La eficacia biológica es un concepto formal -definido por vías distintas (Abrams, 2009)- que no puede establecerse a priori al estar sujeto a los resultados, con independencia de las circunstancias en las que surja y se fundamenta en el concepto de utilidad.

En la evolución de la naturaleza la cadencia es reiterativa, se observa un acuerdo implícito de cooperación pues unos organismos ceden algo a cambio de lo que otros les ofrecen, así su vida es más eficiente y probablemente sobrevivirán. La coexistencia de especies diferentes, en aras de una convivencia con un interés común, ha sido clave en la difusión adaptativa, en la evolución de los linajes y en la diversificación ecológica. La cooperación entre las mismas radica en sus propias células: la simbiosis inter e intraespecies viene dada por la naturaleza, al ocasionar que los organismos pluricelulares “*estén constituidos por múltiples organismos unicelulares organizados de forma cooperativa*” (Damasio, 2010:66), gobernados de manera centralizada con centros de competencias de análisis y decisión.

Las reacciones de las bacterias incluyen comportamientos sociales complejos al comunicarse entre sí, analizan y evalúan la situación lo que les hace ser independientes o unirse a otras de ser necesario, estén emparentadas o no genómicamente. Según Damasio (2018:37), adoptan una actitud moral y su éxito depende de su cooperación pues ante las circunstancias del contexto compiten con otros grupos, bien para obtener recursos o para dominar el territorio, incluso si en su colectivo hay alguno que no coopere adecuadamente, en el logro del objetivo común, lo desprecian y evitan.

El cooperar y competir es innato a la evolución y en las especies se manifiestan por necesidad de adaptarse al entorno, y en los mamíferos la tendencia a cooperar es mayor dada la dependencia superior de terceros; para Camps (2013), la necesidad de confiar más en sus semejantes les induce a minorar la competitividad y la agresividad. Según Dennett (1971), si la evolución ha hecho bien su trabajo, cualquier ser vivo bien adaptado al medio ha de ser un sistema eficiente que toma decisiones adecuadas para su supervivencia; esto se observa en las bacterias, en el sistema vegetal, los insectos y en particular en los mamíferos. En unos y otros, el comportamiento resultante es fruto de la racionalidad, el egoísmo y el altruismo: de nuevo subyace la utilidad por la búsqueda de un beneficio.

La percepción de la racionalidad de comportamientos -tanto en humanos como no humanos- procede de la identificación de las células eucariotas que todos los seres vivos comparten. Se guía por el logro de un objetivo inmediato, de aquí que las decisiones se tomen de acuerdo con el criterio coste-beneficio; incluso se observa en el reino vegetal donde se dan comportamientos racionales a incentivos, como son los cambios a las condiciones ambientales. La racionalidad es optimizadora en sí, y se ha observado que todos los seres vivos están equipados para llevar a cabo procesos de optimización aunque sea una capacidad limitada e inconsciente.

En cuanto al egoísmo es una táctica de supervivencia en los organismos (en particular en los sociales), necesaria y evitable que adopta formas diferentes observables en los distintos comportamientos, según el ámbito propio de su naturaleza; en Biología se estima que “todo comportamiento humano y animal es finalmente egoísta” (De Waal, 2008). No es equivalente al interés propio apuntado por Smith en 1759 (Hurtado y Mesa, 2010), que puede contribuir al interés general sin intención, bien por ausencia de la información necesaria o por simpatía, es decir, por acompañamiento en el sentimiento sobre lo que no se tiene poder de elección.

Por su parte, el altruismo se observa ya en algunas especies y en particular en los mamíferos, llegando a darse entre los insectos sociales, el suicidio altruista comparable al de los humanos. De Waal (2008) estima que hay un altruismo evolutivo común a insectos y mamíferos que ocasionan costes al donante y beneficios al receptor; y un altruismo psicológico, propio de los humanos y algunos animales, que se debe a la intención de beneficiar a otro. Entre una y otra, se identifica un altruismo que surge por motivaciones sociales (se da en mamíferos y aves), como respuesta a las necesidades, peligros o carencias de terceros.

Es un comportamiento prosocial de algunas especies por el que benefician a otras, incurriendo en costes propios, como estrategia de supervivencia al velar por lo estable en el horizonte temporal: no se sigue la optimización individual y se manifiesta la voluntad de contribuir al bienestar general. Al ser intencional está impulsado por motivaciones intrínsecas al integrar a otros agentes, y tal como se observa en la naturaleza, ocasiona una población de replicadores en el contexto -por contagio, simpatía o imitación- que transfieren recursos a su alcance, sin expectativa de reciprocidad. Con tal comportamiento tratan de proyectarse e influir en el hacer ajeno, si bien tal actitud puede ocultar la intención de ayudarse asimismo y tratarse de un egoísmo camuflado.

Wilson (1983) y Simon (1983), estiman que altruismo es un impulso irracional o racional, el primero es “duro o fuerte” al dirigirse de manera unilateral hacia otro, y el que lo otorga no manifiesta deseo equivalente de reciprocidad (es una conducta prosocial en la resolución de conflictos); se trata de un comportamiento voluntario carente de expectativas de respuesta (ni premio ni castigo). El

segundo de “blando o débil” pues quién lo dispensa espera reciprocidad para sí mismo o sus próximos (puede que el cálculo -por mero egoísmo- le exponga a riesgos en la interacción).

En Biología los grupos integrados por miembros de múltiples generaciones, dispuestos a realizar actos altruistas como parte de su división del trabajo se califican de “eusociales” (Tudge, 2014:183-184), lo que se sustenta según Wilson (2018), en la cooperación organizada en la que los miembros de los grupos adoptan papeles a largo plazo. La división del trabajo se observa en las células eucariotas, entre las membranas y los orgánulos, de no ser así los organismos pluricelulares no existirían, ni la variedad de especies existentes; o en las hormigas, abejas y termitas que dividen el trabajo, siguen rutinas por las que logran la supervivencia del grupo, incluido el sacrificio, lo que podría parecer altruista pero la vida de estas especies está guiada.

Los organismos vivos encauzan su hacer y de manera permanente tienen la necesidad de elegir un curso de acción: en miembros de algunas colonias de insectos se observa que al percibir una necesidad individual o colectiva actúan sin plantearse alternativas y optan por la satisfacción; en el caso de ciertos animales, atacan a una presa al menor coste o permanecen guarecidos ante un riesgo; y los humanos -sujetos al principio de racionalidad limitada- no maximan y sus decisiones sólo implican satisfacción. En unos u otros, la elección parece que depende de factores de mayor o menor complejidad y se espera un beneficio de la decisión tomada; según Kahneman y Tversky (1979), el riesgo en los humanos hace inoperante a la probabilidad y “*hacen hincapié en la importancia del resultado potencial, incluida la pérdida*” (Fuster, 2014:180-185), así, ante la incertidumbre y el riesgo, respecto a las posibles pérdidas o ganancias, cuentan con “la opción intertemporal” sujeta al descuento por demora, es decir que al decidir “*la utilidad se descuenta de la cantidad de tiempo que debe pasar antes de la esperada consecución de la recompensa*”.

4. CONCLUSIÓN

La ciencia muestra las acciones que han contribuido a la evolución de la naturaleza y ocasionado la generación de las especies; así, los organismos unicelulares -de manera gradual o con saltos abruptos- evolucionan a multicelulares y desde los orígenes hay eficacia, coste, beneficio, se coopera, compete, se divide el trabajo, se toman decisiones sujetas a la racionalidad, el egoísmo o el altruismo, y se obtiene satisfacción. La escasez de recursos para satisfacer las necesidades de los organismos es la que les otorga a todas estas acciones el carácter de “económico” y les condiciona a interactuar, de manera casual o causal, por mera utilidad.

En el intento de argumentar lo intrínseco que lo económico está en la naturaleza (además de por endosimbiosis) y comparar una ciencia social a una básica, la causación biológica (Mayr, 1961; De Waal, 2008) puede ser válida al identificar la relación causa-efecto del comportamiento de los organismos vivos de la naturaleza, y trasladarse a los artificiales (las empresas u organizaciones) a partir de la Teoría General de Sistemas (Bertalanffy, 1976), así, desplegar el amplio espectro de símiles entre la Economía y la Biología que permiten satisfacer las necesidades humanas, y responder al “dominio de causación última” (obedece a los innatismos que determinan al individuo a sobrevivir y reproducirse), y al “dominio de causación próxima” (alude a los procesos propios en situaciones específicas). La primera cuestiona el “por qué” y “para qué” (fines, metas, objetivos, toma decisiones, resultado), y la segunda “con quién” y “de qué modo” (grupos de interés, estrategias, teorías y metodologías de gestión) tanto inter como intrasectorialmente.

5. BIBLIOGRAFÍA

- ABRAMS, M. (2009): “What determines biological fitness?. The problem of the reference environment”, *Synthese*, October.
- ALCHIAN, A. (1950): “Uncertainty, evolution and economic theory”. *The Journal of Political Economy*, 58, 3, 211-221.

- (1953): "Biological analogies in the theory of the firm: Comment". *The American Economic Review*, 43, 4, 600-603.
- ALDRICH, H.E.; HODGSON, G.M.; HULL, D.L.; KNUDSEN, T.; MOKYR, J.; VANBERG, V.J. (2008): "In defense of generalized Darwinism". *Journal of Evolutionary Economics*, 18, 5, 577-596.
- BAINBRIDGE, W.S. (2003): "The future in social sciences". *Future*, 35, 633-650.
- BECKER, G.S. (1976): "Altruism, egoism, and genetic fitness: Economics and Sociobiology". *Journal of Economic Literature*, 14, 3, 817-826.
- (1998): "The economic approach to human behavior". *The University of Chicago Press*.
- BERTALANFFY, L. (1976): *Teoría General de los Sistemas*, Fondo de Cultura Económica, México.
- BOULDING, K. (1950): *The reconstruction of Economics*, Wiley & Sons, New York.
- BRIONES, C.; FERNÁNDEZ SOTO, A.; BERMÚDEZ DE CASTRO, J.M. (2016): *Orígenes. El universo, la vida, los humanos*, Crítica, Barcelona.
- CAMPS, V. (2013): Neuronas y valores, *Revista de Neurología*, 57 (5) 230-234.
- COEN, E. (2013): *De las células a las civilizaciones*, Crítica, Barcelona.
- DALY, H.E. (1968): "On Economics as a life science", *Journal of Political Economy*, 76, 3, 392-406.
- DAMASIO, A. (2010): *Y el cerebro creó al hombre*, Ediciones Destino, Barcelona.
- (2018): *El extraño orden de las cosas*, Ediciones Destino, Barcelona.
- DENNETT, D. (1971): "Intentional systems", *Journal of Philosophy*, 4, 87-106.
- DE WAAL, F.B. (2008): "How selfish and animal?" en Zak, P.J. (ed): *Moral markets*, 63-76, Princeton University Press, New Jersey.
- FUSTER, J.M. (2014): *Cerebro y libertad*, Ariel, Barcelona.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1977): "¿Qué puede enseñar a los economistas la termodinámica y la biología? *Atlantic Economic Journal*, Marzo, 13-21.
- GHISELIN, M.T. (1978): "The economy of the body", *American Economic Review* 68 (2), 233-237.
- HAMMERSTEIN, P.; HAGEN, E. (2005): "The second wave of evolutionary economics in biology", *Trends in Ecology and Evolution*, 20 (11), 604-609.
- HIRSHLEIFER, J. (1977): "Economics from a biological viewpoint", *The Journal of Law & Economics*, Vol. 20, nº 1, pp. 1-52.
- (1978): "Competition, cooperation and conflict in Economics and Biology", *The American Economic Review*, 68 2, 238-243.
- HODGSON, G.M. (1997): "The evolutionaty theory and non-darwinian economics of Joseph Schumpeter", *Journal of Evolutionary Economics*, 7, 131-145.
- HURTADO, J.; MESA, S. (2010): "Sobre: El sujeto económico y la racionalidad en Adam Smith: Confusiones y lugares comunes", *Revista de Economía Institucional*, 12, 22, 277-286.
- KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. (1979): "Prospect theory: An analysis of decision under risk", *Econometrica*, 47, 263-291.
- KRAJBICH, I.; CAMERER, C.; LEDYARD, J.; RANGEL, A. (2009): "Using neural measures of economic value to solve the public goods free-rider problem", *Science*, 326, 5926, 596-599.
- LONGSTAFF, P.H. (1998): *Competition and cooperation: from biology to business regulation*, Harvard University, Cambridge, Massachusetts.
- LLOYD, D.; AON, A.; CORTASSA, S. (2001): "Why homeodynamics, not homeostasis?", *The Scientific World*, 1, 133-145.
- MARGULIS, L. (2002): *Planeta simbiótico*, Editorial Debate, Madrid.
- MARSHALL, A. (1954): *Principios de Economía*, Aguilar, Madrid.
- MARTINEAU, H. (2013): *La vida en territorio salvaje*, Ecobook, Madrid.
- MAYR, E. (1961): "Cause and effect in biology", *Science*, 134, 1501-1506.
- MORA, F. (2018): *Mitos y verdades del cerebro*, PAIDÓS, Barcelona.
- MOSTERIN, J. (2013): *Ciencia, filosofía y racionalidad*, Gedisa Editorial, Barcelona.
- PENROSE, E. (1952): "Biological analogies in the theory of the firm", *The American Economic Review*, 42, 5, 804-819.

- PINE, A.; SEYMOUR, B.; ROISER, J.P.; BOSSAERTS, P.; FRISTON, K.J.; CURRAN, H.V.; DOLAN, R.J. (2009): "Encoding of marginal utility across time in the human brain", *Journal of Neuroscience*, 29, 30, 9575-9581.
- RIZELLO, S. (2003): "Towards a cognitive evolutionary economics", *S. Cognetti de Martlis Working Papers Series*, 03.
- ROBSON, A.J. (2001): "The biological basis of economic behavior", *Journal of Economic Literature*, 11-33.
- RODRÍGUEZ VALLS, F. (2017): *Orígenes del hombre*, Biblioteca Nueva, Madrid.
- SAMPEDRO, J. (2002): *Deconstruyendo a Darwin*, Crítica, Barcelona.
- SIMON, H. (1983): *Reason in human affairs*, Stanford University Press.
- STEVENSON, L.; HABERMAN, D.L.; MATTHEWS WRIGHT, P.; WITT, CH.: *Trece teorías de la naturaleza humana*, Cátedra, Madrid.
- TORTELLA, G. (1994): *Discurso*, Acto de recepción del Premio Rey Juan Carlos de Economía.
- TUDGE, C. (2014): *Por qué los genes no son egoístas*, IAO Arte Editorial, Madrid.
- VUKICEVIC-DORDEVIC, L. (2014): "On biological metaphors in economic discourse", *The Journal of Teaching English for Specific and Academic Purposes*, 2, 3, 429-443.
- WILSON, E. (1975): *Sociobiology: The new synthesis*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- (1983): *Sobre la naturaleza humana*, Fondo de Cultura Económica, México.
- ZAWOJSKA, A.; SIUDEK, T. (2016): "Bioeconomics as an interdisciplinary science", *International Conference Economic Science for Rural Development*, Polonia, 273-280.