



## Economía de la Complejidad<sup>1</sup>

### I. Introducción

Las interacciones entre los agentes económicos y financieros se vuelven cada vez más complejas. Ello ha dado lugar al surgimiento de nuevas teorías que buscan explicar el comportamiento (a veces no racional) de dichos agentes en la toma de decisiones. En particular, luego de la Gran Recesión de 2008-2009, universidades, centros de investigación económica y bancos centrales han iniciado la búsqueda de nuevos enfoques y técnicas que permitan reducir la incertidumbre para la toma de decisiones y con ello evitar futuras crisis financieras.

Dentro de este nuevo conjunto de teorías se destaca la Economía de la Complejidad (CE por sus siglas en inglés)<sup>2</sup> cuyo principal promotor, desde la década de los 80, ha sido *Santa Fe Institute*. De conformidad con los postulados de esta doctrina, la economía se puede analizar como un sistema complejo donde el comportamiento y la interacción de los diferentes agentes económicos hacen que las principales variables macroeconómicas se encuentren en constante cambio, por lo cual es posible que la economía funcione fuera de equilibrio. En el presente documento se analiza el marco teórico, metodologías y algunas aplicaciones actuales de la CE.

### II. Marco teórico

La economía de la complejidad (CE) considera al sistema económico como un sistema complejo-adaptativo (SCA). En este sentido, no considera a la economía como un sistema en equilibrio, sino uno en permanente movimiento, en donde los agentes a través de sus interacciones definen la trayectoria de las variables macroeconómicas (Arthur, 2012). Este enfoque de la CE representa una alternativa a los modelos dinámicos estocásticos de equilibrio general (DSGE) en los cuales se asume un único y estable estado estacionario<sup>3</sup>. Dentro de las características de los SCA introducidos por la CE cabe resaltar las siguientes: i) pueden permanecer fuera de equilibrio por varios períodos de tiempo (aún si existiera un único equilibrio); ii) su equilibrio puede ser inestable; y iii) los mercados financieros no son necesariamente eficientes, puesto que los inversionistas no siempre se basan en los fundamentos de la economía sino en el comportamiento y opinión de otros agentes económicos, colegas o amigos (Helbing y Kirman, 2013).

El enfoque de CE permite analizar las diferentes conexiones entre los agentes económicos a través del estudio de redes (Foster, 2005). Por ejemplo, el sistema financiero mundial puede ser analizado a través de una red financiera donde se pueda observar las interacciones entre las diferentes instituciones y la transmisión de choques, lo cual podría ayudar a prevenir el posible contagio financiero derivado

1. Resumen y traducción libre efectuada por Juan Carlos Arriaza Herrera, Sección de Investigación Económica Aplicada, Departamento de Investigaciones Económicas, Banco de Guatemala.

2. CE es el acrónimo de *Complexity Economics*, por su definición en inglés.

3. DSGE es el acrónimo de *Dynamic Stochastic General Equilibrium Models*, por su definición en inglés.

4. ABM es el acrónimo de *Agent Based Models*.



de una crisis financiera a nivel mundial. Asimismo, el enfoque de CE permite modelar las interacciones no lineales entre agentes heterogéneos con racionalidad limitada (Fagiolo y Roventini, 2016). Para tal efecto es necesaria la utilización de modelos computacionales que permitan que los agentes económicos se relacionen en SCA. En este sentido, las dos principales aplicaciones de CE son los modelos computacionales basados en agentes (ABM) y la teoría de redes (NT) aplicada a la economía y las finanzas.

### III. Modelos Basados en Agentes (ABM)

Los Modelos Basados en Agentes (ABM por sus siglas en inglés)<sup>4</sup> son modelos computacionales que permiten realizar simulaciones de las interacciones entre diferentes agentes, los cuales pueden ser heterogéneos casi en su totalidad, es decir, con características distintas, y con racionalidad limitada, lo cual permite una mayor flexibilidad que los modelos de equilibrio general, los cuales generalmente asumen un agente representativo racional. En este sentido, los agentes económicos no son completamente racionales y sus decisiones son influenciadas por las interacciones entre ellos y por sus propias creencias.

Los ABM han sido utilizados en las ciencias sociales para realizar simulaciones de las interacciones entre los agentes que participan en los mercados financieros; para llevar a cabo análisis de la dinámica del tránsito vehicular; para evaluar la cooperación y competencia entre las firmas; o para la evaluación de patrones de migración, entre otros. Además, es posible evaluar hipótesis con respecto a las interacciones entre los agentes antes y después de un choque a la economía, como es el caso de una crisis financiera (Helbing y Balmietti, 2012).

En el ámbito económico y financiero los ABM se han utilizado en múltiples estudios. Westerhoff y Franke (2012) simularon dos

## Contenido

- 1. Economía de la Complejidad ..... p. 1
- 2. Política de gobierno y productividad laboral . p. 3

modelos para evaluar la efectividad de las políticas regulatorias de mercado. En primer lugar, simularon el comportamiento de un mercado financiero con la presencia de especuladores y una autoridad central reguladora. Posteriormente, modelaron las interacciones de un mercado de bienes con los supuestos keynesianos incluyendo una autoridad central reguladora de mercado y asumiendo que las firmas se comportan con racionalidad limitada. En ambos casos, los agentes reaccionan inmediatamente ante el tipo de intervención planteado por la autoridad central reguladora, lo cual permite el análisis de diferentes escenarios para la toma de decisiones.

Adicionalmente, *Santa Fe Institute* diseñó un sistema financiero artificial por medio de un ABM. En dicho modelo se asume que los operadores financieros son heterogéneos con respecto a sus expectativas, lo que hace que su racionalidad sea limitada. A través del aprendizaje en la toma de decisiones de los operadores financieros, estos pueden moverse de un régimen de equilibrio a otro con múltiples equilibrios (Ehrentreich, 2010).

#### IV. Teoría de redes aplicadas a la economía

El sistema financiero mundial se encuentra interconectado debido a la apertura de los mercados financieros. Luego del colapso de Lehman Brothers en 2008, el cual generó una crisis financiera global, modelar las interacciones entre las instituciones financieras ha sido un reto para los investigadores. Debido a la complejidad de los instrumentos y derivados financieros, externalidades y asimetrías de información, se hace necesario conocer las interconexiones y el peso que tienen las principales instituciones financieras internacionales en los sistemas financieros locales, como el objeto de prevenir una futura crisis financiera.

Una forma de poder representar las interacciones del sistema financiero mundial es a través de la teoría de redes (NT por sus siglas en inglés)<sup>5</sup>. Esta teoría permite la representación del sistema financiero internacional como una red compleja compuesta de nodos y conexiones, donde es posible identificar las instituciones financieras que controlan la mayoría de transacciones y medir el posible efecto cascada del colapso de una de ellas en el sistema global. Para su diseño, es necesario el uso de modelos computacionales en los cuales los nodos representan los diferentes agentes económicos (firmas, familias, instituciones financieras, países, etc.) mientras que las conexiones representan las interacciones entre los mismos (Schweitzer et al., 2009).

Minoiu y Reyes (2011) realizaron un análisis de los préstamos bilaterales entre bancos utilizando la teoría de redes para 184 países para el período comprendido entre 1978 y 2009. En el modelo computacional, que ellos construyeron, cada nodo representaba un país y los flujos bancarios representaban las interconexiones entre ellos; el estudio identificó cambios estructurales en la conectividad entre los países,

especialmente durante el período 2002-2008, durante el cual los países de alto crecimiento en Europa, así como los países BRIC, consolidaron sus posiciones como altamente interconectados prestatarios<sup>6</sup>. Además, pudieron detectar la turbulencia financiera a partir de 2008, justo antes del inicio de la crisis financiera global. En otro estudio, Oatley et al. (2013) diseñaron una red para el sistema financiero global, encontrando que 18 países representan el 80% de todas las transacciones financieras a nivel global, en donde Estados Unidos y Reino Unido ocupan el primero y segundo lugar, respectivamente.

#### V. Conclusiones

El enfoque de la economía de la complejidad (CE) permite modelar una economía como un sistema complejo-adaptativo (SCA), donde la estructura de las relaciones entre sus diferentes agentes juega un papel primordial en la determinación del resultado final. Las dos principales aplicaciones de CE son los modelos computacionales basados en el agente (ABM) y la teoría de redes (NT) aplicada a la economía y las finanzas. A pesar de que la CE se encuentra en sus etapas iniciales de desarrollo, esta doctrina surge como una alternativa a los modelos DSGE tradicionales, con lo cual se convierte en una nueva herramienta para el análisis económico y la toma de decisiones.

#### Referencias

Arthur, W. B. (2012). Complexity Economics: A Different Framework for Economic Thought. SFI Working Paper No. 12, Santa Fe Institute.

Ehrentreich, N. (2010). Agent-Based Modeling: The Santa Fe Institute Artificial Stock Market Model Revisited. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems.

Fagiolo, G. y Roventini, A. (2016). Macroeconomics Policy in DSGE and Agent-Based Models Redux: New Developments and Challenges Ahead. Institute of Economics, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy.

Foster, J. (2005). From Simplistic to Complex Systems in Economics. Discussion Paper No. 335, Cambridge Journal of Economics.

Helbing, D. y Balmelli, S. (2012). How to Do Agent - Based Simulations in the Future: From Modeling Social Mechanisms to Emergent Phenomena and Interactive Systems Design. Self-Organizations, Understanding Complex Systems, pp. 25-70.

Helbing, D. y Kirman, A. (2013). Rethinking Economics Using Complexity. Real - World Economics Review, Issue No. 64.

Schweitzer, F., Fagioli, G., Sornette, D., Vega-Redondo, F., Vespignani, A., y Whites, D.R. (2009). Economic Networks: The New Challenges. Science 25, Volume 325.

Minoiu C. y Reyes, J. A. (2011). A Network Analysis of Global Banking: 1978 - 2009. IMF Working Paper No. 74, International Monetary Fund.

Oatley, T., Winecoff, W. K., Pennock, A. y Danzman, S. (2013). The Political Economy of Global Finance: A Network Model. Volume 11, Issue 1, Perspectives on Politics, pp. 133 - 153.

Westerhoff, F. y Franke, R. (2012). Agent Based Models for Economic Policy Design: Two Illustrative Examples. BERG Working Paper Series, No. 88.

Director	Producción
Johny Rubelcy Gramajo M.	Sergio A. Hernández R. Leonel Enrique Dubón Q.
Consejeros	
Armando Felipe García Salas A.	Edición
Edgar Rolando Lemus R.	Juan Francisco Sagúí Argueta
Coordinador	Arte y Diagramación
Ivar Ernesto Romero Ch.	Pablo Emilio Méndez Lima

**NOTAS MONETARIAS** es un órgano divulgativo de información económico-financiera actualizada, de periodicidad bimestral y distribución gratuita. De aparecer colaboraciones especiales, sus autores serán entera y exclusivamente responsables por sus opiniones y, de consiguiente, estas no reflejarían la posición oficial del Banco de Guatemala, a menos que ello se haga constar de modo expreso. Es libre la reproducción de los artículos, gráficas y cifras que figuren en esta publicación, siempre y cuando se mencione la fuente. Toda correspondencia deberá dirigirse a: **NOTAS MONETARIAS** del Banco de Guatemala, 7a. avenida, 22-01, zona 1, Ciudad de Guatemala, Código Postal No. 01001.

5. NT es el acrónimo de Network Theory.

6. Se conoce como BRIC al grupo de países conformado por Brasil, Rusia, India y China.

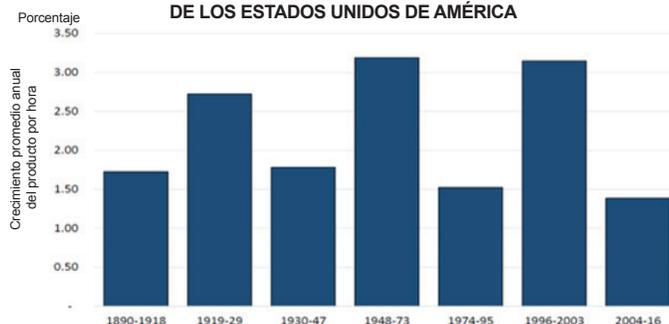
# Política de gobierno y productividad laboral <sup>1</sup>

## I. Introducción

La productividad laboral es la cantidad de bienes y servicios que se producen por hora de trabajo. El incremento de la productividad es un factor fundamental en el crecimiento económico de un país y en el nivel de vida promedio de sus habitantes. Dicho crecimiento puede ser influenciado (de manera positiva o negativa) por las políticas gubernamentales.

Durante los 120 años que conforman el período 1890-2016, el crecimiento de la productividad laboral de los Estados Unidos de América ha fluctuado de manera procíclica, registrando tasas de crecimiento promedio por arriba de 2.75% en períodos de auge económico (1919-1929, 1948-1973 y 1996-2003) y tasas de crecimiento promedio por debajo de 2% en períodos recesivos (ver Figura 1). Cabe destacar que el último periodo observado ha registrado las tasas de productividad laboral promedio más bajas de la historia reciente del país.

**FIGURA 1. CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA**



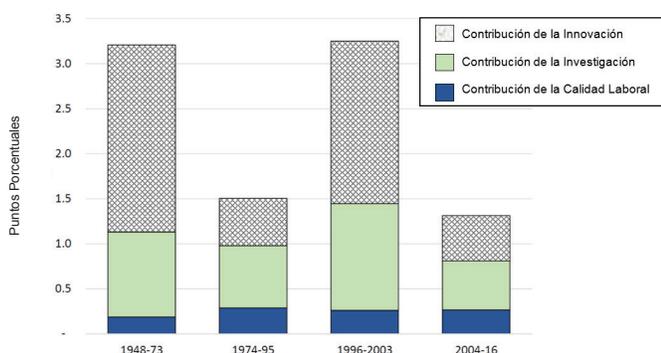
Nota: Productividad laboral no agrícola. Las pausas en 1890, 1919 y 1930 son picos del ciclo económico encontrados por la oficina Nacional de Investigación Económica. Las pausas en 1947, 1973, 1995 y 2003 provienen de las pruebas estadísticas realizadas en Fernald (2015). Fuente: *Historical Statistics of the United States (1890-1947)*; *Bureau of Labor Statistics (1948-2016)*.

Los siguientes apartados describen los factores que determinan el crecimiento de la productividad laboral y el efecto de las políticas gubernamentales en los mismos.

## II. Factores que determinan el crecimiento de la productividad

El crecimiento de la productividad laboral proviene de tres fuentes principales: i) innovación; ii) inversión; y iii) calidad del recurso humano. La Figura 2 ilustra las contribuciones de cada factor al crecimiento de la productividad laboral.

**FIGURA 2. CONTRIBUCIONES AL CRECIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD LABORAL**



Fuente: John G. Fernald, "A Quarterly, Utilization Adjusted Series on Total Factor Productivity," FRBSF Working Paper 2012-19. Data updated June 5, 2017.

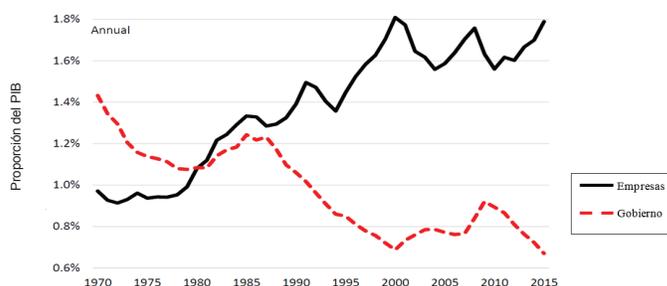
De la gráfica anterior es posible concluir que la contribución de la innovación (área gris) fue relevante durante los períodos donde se registró un fuerte crecimiento de la productividad laboral (1948-1973 y 1996-2003). De igual manera, la contribución de la inversión (área verde) se incrementó, aunque en menor medida, durante dichos períodos. Por su parte, la contribución de la calidad del recurso humano (área azul) se mantuvo relativamente constante. Por lo tanto, la desaceleración de la productividad laboral en años recientes se deriva, principalmente, de una menor innovación en el proceso de producción.

## A. Innovación

La palabra innovación proviene del latín *innovatio* que significa "crear algo nuevo". En las ciencias económicas este concepto fue introducido por Joseph Schumpeter (1883-1950), quien subrayó la importancia del empresario en la generación de innovaciones en los procesos de producción, los cuales permiten generar una mayor (y/o mejor) cantidad de producto utilizando la misma cantidad de insumos.

Actualmente existe un debate sobre las perspectivas a futuro de la innovación tecnológica. Por un lado, algunas personas consideran que ya se agotaron los frutos derivados de la misma y que los incrementos que se observarán en el futuro serán marginales.<sup>2</sup> Por otro lado, otras personas consideran que las innovaciones que se registraron en las últimas décadas están generando en la actualidad (i. e. impresoras 3D, equipos de secuenciación del ADN) y continuarán propiciando en el futuro mayores innovaciones tecnológicas.<sup>3</sup> Las innovaciones que se encuentran actualmente en proceso de desarrollo, tales como vehículos autoconducidos, el tratamiento de enfermedades con base en la genética, así como la reducción en los costos de energía convencional y alternativa, permiten favorecer la opinión del segundo grupo de personas y sugieren que continuaremos innovando, tanto en el sector de tecnologías de información, como en otros sectores de la economía.

**FIGURA 3. GASTO EN INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA**



Fuente: *Organization for Economic Cooperation and Development*; *Bureau of Economic Analysis*.

Una forma de garantizar el constante crecimiento en innovación es mediante el aumento en los gastos que las empresas y los gobiernos destinan a Investigación y Desarrollo (I&D). La Figura 3 ilustra los gastos en I&D de las empresas (línea negra) y del gobierno (línea roja) como proporción del PIB de los Estados Unidos de América, durante el período comprendido entre 1970 y 2015.

1. Resumen y traducción libre del documento "Government policy and labor productivity", Stanley Fisher (2017), remarks at the forum: Washington transformation? Politics, policies, Prospects. Resumen elaborado por Diego Cienfuegos, Analista III del Departamento de Investigaciones Económicas del Banco de Guatemala.
2. Gordon (2014) indica que las invenciones de la era de la información registradas durante los últimos 40 años (i. e. la computadora personal, la internet, el teléfono móvil, entre otros) constituyen una meta difícil de superar.
3. Mokyr (2014) considera los avances que se dan en los métodos y herramientas de investigación y concluye que, en el largo plazo, los efectos indirectos de la ciencia sobre la productividad, por medio de las herramientas que proporciona la investigación, serán superiores que los efectos directos sobre la misma.

Como se observa, la I&D de las empresas ha registrado una tendencia creciente y se ha duplicado durante el período que se indica. Por su parte, la proporción de I&D con respecto del PIB del gobierno ha registrado una tendencia decreciente (con excepción de algunos años), particularmente luego de la Gran Recesión de 2008-2009 y actualmente se encuentra en el nivel más bajo de la historia reciente.

Es difícil determinar con precisión las acciones de política que debería adoptar el gobierno para abordar la disminución en el dinamismo de los gastos en I&D. Sin embargo, se recomienda considerar en detalle los efectos que tendrían de las regulaciones y la política tributaria en el libre flujo de trabajadores, capital e ideas.

## B. Inversión

Durante los últimos años la contribución de la inversión a la productividad del trabajo se ha reducido (ver Figura 2). La tasa de crecimiento anual de la inversión fija de las empresas se redujo de 5% durante el período 1996-2003 a 2.5% durante el período 2004-2016. Si bien los gastos de capital en algunas empresas se ha incrementado significativamente desde 2010 (empresas del sector de tecnologías de información, como Google y Amazon, o del sector energético) en su conjunto, la mayor parte de empresas se encuentran reacias a invertir.

Esta resistencia a invertir podría reflejar la incertidumbre existente en la aplicación de políticas públicas por parte del gobierno. La incertidumbre política fue relativamente elevada durante el período de recuperación posterior a la Gran Recesión. No obstante, se incrementó aún más durante 2016, derivado de políticas asociadas con cuidado de la salud, regulación, impuestos y comercio. Si bien podríamos no estar de acuerdo en las medidas a tomar para moderar el alza en la incertidumbre política, la reducción de la misma es deseable para efectos de lograr un aumento en la inversión.

La inversión del gobierno también es una fuente importante de crecimiento de la productividad. Por ejemplo, se atribuye al sistema de autopistas interestatales el aumento de la productividad en los años cincuenta y sesenta. Sin embargo, ese sistema de autopistas, vías navegables, estructuras y muchas otras carreteras construidas con apoyo federal se han descuidado en los últimos años. En efecto, el gasto real en infraestructura (es decir, ajustado por la inflación) se ha reducido en alrededor de 1% por año desde 2005. Por consiguiente, debería darse mayor atención a este componente del gasto público.

## C. Calidad del recurso humano

Otro aspecto importante para aumentar la productividad laboral es la inversión en capital humano, el cual se refiere a los conocimientos y habilidades de los trabajadores. Esta es un área donde la política gubernamental puede jugar un rol importante, promoviendo el acceso a la educación a un mayor número de personas, especialmente a las que no pueden pagarla.

Investigaciones recientes registran un aumento en inversión pública en educación preprimaria para grupos de escasos recursos. Estos programas tienden a incrementar el número de graduados de secundaria mejorando el nivel de vida de los participantes y de sus padres, además de producir otros resultados socialmente beneficiosos como una mejor salud. Adicionalmente, la obtención de un título universitario siempre se ha considerado una inversión valiosa, por lo que se debería propiciar un mayor acceso a este tipo de educación por medio de ayuda financiera proporcionada a través del apoyo federal<sup>4</sup>.

El rendimiento del capital humano incorporado a nuestra fuerza de trabajo se encuentra estrechamente vinculado a la salud pública. Un aumento en la tasa de morbilidad o una disminución de la tasa de longevidad en la población de los Estados Unidos de América es preocupante no solo por razones humanitarias. Trabajadores demasiado enfermos o recurrentes a enfermarse no rinden de conformidad con su potencial, lo cual representa una pérdida en la productividad y en el bienestar de la sociedad. Estudios recientes indican que este es el caso de los adultos mayores no hispanos.

Mayor investigación es necesaria en relación con las políticas que deben tomarse para revertir esta tendencia y el financiamiento del gobierno seguramente ayudará en dicho esfuerzo. En general, programas para promover el aire limpio y el agua potable son muestras de políticas de salud pública que mejoran la salud y la longevidad de la fuerza laboral presente y futura.

## III. Conclusiones

Para finalizar, retomemos a la pregunta inicial: ¿Qué tan importante es el crecimiento de la productividad laboral? La respuesta básica: con simple aritmética se puede ver que es de importancia fundamental. Si la productividad laboral crece, en promedio, 2% por año, el estándar promedio de vida de nuestros hijos será el doble del nuestro; sin embargo, si dicha tasa de crecimiento es solamente de 1% por año, la diferencia será enorme: el estándar promedio de vida requerirá dos generaciones para duplicarse.

Afortunadamente, en materia de productividad no se trata solo de tener suerte o de esperar al destino, ya que el gobierno puede tomar medidas para aumentar más rápido el crecimiento de la misma. En términos generales la política gubernamental funciona mejor cuando puede abordar una necesidad que el sector privado descuida, como invertir en investigación básica, infraestructura, educación (desde la primera etapa hasta la universidad) y salud pública. No todas las personas están de acuerdo sobre el camino que se deberá tomar, pero si como sociedad se desea tener éxito, se deben de aplicar políticas que respalden y aumenten el crecimiento de la productividad. Es más fácil decirlo que hacerlo, pero se puede lograr.

## Referencias

- Dynarski, S. y Scott-Clayton, J. (2013). Financial Aid Policy: Lessons from Research. NBER Working Paper Series 18710.
- Gordon, R. (2014). The demise of US economic growth: Restatement, rebuttal, and Reflections. NBER Working Paper Series 19895.
- Mokyr, J. (2014). Secular Stagnation? Not in Your Life. En *Secular Stagnation: Facts, Causes, and Cures*. Editado por Teulings C. y Baldwin, R., London: CEPR Press, 83-89.

4. Dynarski y Scott-Clayton (2013) concluyen que el número de estudiantes universitarios se relaciona positivamente con la ayuda financiera proporcionada a los estudiantes.