



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ECONOMÍA

**Una Interpretación de la Teoría General: un
modelo no ergódico**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN ECONOMÍA

P R E S E N T A:

Jorge E. C. Garibaldi

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Moritz Alberto Cruz Blanco

Ciudad Universitaria, Enero de 2020
CDMX





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Contenido General:

Introducción	2
CAPÍTULO 1. La Crítica a los Supuestos de la Teoría Mainstream	7
1.1 Los supuestos de la teoría mainstream	7
1.2 Señalamientos a la teoría económica después de la crisis de 2008	10
CAPÍTULO 2. La Propuesta de Keynes y el Análisis post-Keynesiano	14
2.1 Aspectos post-keynesianos	14
2.2 Elementos generales de la propuesta de Keynes	17
2.3 La de definición de racionalidad de la IA en la propuesta Keynes considerando no ergodicidad	20
CAPÍTULO 3. Expresiones Particulares del Consumo e Inversión	24
3.1 Relación entre la demanda esperada y la demanda efectiva	25
3.2 Demanda de consumo	27
3.3 Demanda de inversión	28
3.4 Oferta de consumo	31
3.5 Ocupación	33
CAPÍTULO 4. Sistema Económico no Ergódico	34
4.1 Modelo matemático	36
a) Agente productor	36
b) Agente consumidor	40
c) Ahorro del sistema	41
4.2 Límites del modelo	44
4.3 Simulación y resultados	45
Conclusiones	61
Anexo. Código de Simulación y condiciones iniciales y principios de modelado	66
Bibliografía	75

Introducción

La teoría económica, en particular la catalogada como *mainstream*, tiene críticas relativas a su valor de verdad con respecto de la realidad. Estas se desprenden de dos características: 1) supuestos que no son de contraste empírico (Davidson, 2008); y 2) no es adecuada para explicar los orígenes y naturaleza de la crisis económica (Kirman, 2011). La corriente señalada, tiende a crear escenarios desapegados de la complejidad económica. Aunque un modelo teórico no es una representación exacta de la realidad, no debe crear una dimensión alterna perfecta para demostrar su validez, pues ello implica que no es aplicable en “otra” realidad.

Las críticas señaladas no son nuevas y forman parte de la estructura teórica no ortodoxa de la Economía. Sin embargo, en la crisis financiera de 2008, las deficiencias mencionadas rebasaron el campo teórico y fueron padecidas por aquellas instituciones que instrumentaron su política en supuestos de expectativas racionales (Lucas, 1971; Muth, 1968); vaciado continuo del mercado y homogeneidad temporal.

Aceptando que la crisis de 2008 demostró que la teoría *mainstream* no puede explicar el fenómeno de crisis económica, se plantea la siguiente problemática: los modelos económicos dominantes no reconocen los ciclos económicos como parte integral del sistema. Al respecto, Kirman (2010) señala la necesidad de considerar la crisis económica como un fenómeno inherente al sistema. Y Trichet (2010), sugiere reestructurar las concepciones que se tienen de los agentes económicos y su comportamiento durante periodos de crisis.

Modificar el enfoque del análisis económico, partiendo de reconocer los ciclos de expansión y recesión como resultado de la interacción de los agentes, es necesario para ampliar el entendimiento de las

consecuencias de aplicar acciones, herramientas y políticas en diferentes contextos económicos. Con lo anterior, los hechos económicos críticos dejan de ser sorpresas y se tratan como un problema a estudiar.

Con base en lo anterior, el presente trabajo tiene el objetivo de construir un modelo matemático de interacción económica que considera endógenos los ciclos económicos. Dicho modelo parte de las recomendaciones antes señaladas de Kirman (2010) y Trichet (2010). Se construye con la exposición de Keynes (1936) relativa a la ocupación y la interacción entre la oferta y la demanda; la propuesta de no ergodicidad en los resultados del sistema de Davidson (2008); y la aplicación de la definición de racionalidad de la Inteligencia Artificial (IA) en la interacción económica desarrollada en la Teoría General (Keynes, 1936).

En la construcción del modelo subyace la Hipótesis de trabajo: los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles. Para corroborar la afirmación se generan datos que simulan la interacción económica determinada por el modelo. En los resultados del sistema, en particular la demanda, se esperan ciclos endógenos y propiedades estadísticas no ergódicas. La simulación señalada se realiza con la programación del modelo en lenguaje y entorno R.

El proceso de construcción del modelo y el uso del mismo cumplen con los principios de modelación de la economía computacional multiagente¹ (*agent-based computational economics*) (ver anexo). El desarrollo del mismo, se agrupa en la rama de programación de herramientas de modelado de tal metodología, pues simula una economía artificial de agentes autónomos que se emplea para analizar la lógica de comportamiento basada en Keynes (1936).

1 <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm>

Los modelos multiagente se han aplicado para analizar el comportamiento de sistemas dinámicos autónomos y evaluar los efectos de la política económica. Ashraf, Gershman & Howit (2008) desarrollan un sistema de agentes inteligentes autónomos dirigidos por reglas de objetivo según su rol (empresarios, trabajadores, consumidores, bancos, banco central y gobierno), estos interactúan en una economía descentralizada. En su sistema, se recalca la importancia de los bancos en las transacciones económicas. Se observa que una regulación bancaria prudente modifica los escenarios económicos en periodos críticos.

El impacto de la política fiscal y monetaria es analizado por Haber (2008) en un modelo computacional de agentes constituido por hogares, empresas, bancos y el gobierno. Es capaz de generar series de producto, empleo, consumo e inflación. En las series reporta caídas en el empleo e incrementos en la inflación y producto al reducir la tasa de impuesto y flexibilizar la política monetaria. También observa que reglas de aprendizaje robustas reducen el efecto de la política fiscal.

Teglio (2011), contribuyendo al proyecto EURACE, diseña un sistema económico que incluye el mercado financiero, el mercado real y un sistema bancario para evaluar los efectos de *quantitative easing* y los requerimientos de capital bancarios. Entre sus resultados destaca la reproducción de ciclos económicos, los cuales se originan por desviaciones entre la oferta y la demanda de bienes de consumo y fluctuaciones en la inversión de capital fijo.

Los modelos computacionales multiagente permiten analizar la interacción en conjunto de participantes que toman decisiones dinámicas. La principal debilidad de esta metodología es la libertad que tiene el modelador para construir el comportamiento de los agentes.

En términos de Ackroff (1953) y Miller (1977), el trabajo es relevante por su valor teórico y metodológico, pues en el marco de la economía computacional multiagente aporta una aplicación

estadística basada en elementos post-keynesianos y en la propuesta de Keynes (1936). Además, se defiende el valor práctico del mismo, pues abona argumentos que justifican cambios en el pensamiento económico de las decisiones de política macroeconómica.

Para construir el modelo y evaluar la hipótesis del trabajo es necesario concretar tres objetivos específicos, 1) revisar los supuestos de la teoría *mainstream* para identificar qué elementos teóricos se deben descartar o modificar para considerar la crisis como parte de la evolución del sistema, 2) delimitar premisas generales de comportamiento que determinen la lógica del modelo, 3) definir los aspectos particulares que estructuran las reglas de comportamiento de los agentes en el modelo.

La distribución del trabajo sigue el orden de los objetivos específicos.

En el primer capítulo se revisa la crítica mencionada de la teoría económica ortodoxa. Al respecto, se revisan las implicaciones de los supuestos en el comportamiento de un modelo *mainstream*. Se abordan las corrientes neoclásica y neokeynesiana como ejemplos de tal postura. Por último, se recuperan las observaciones y recomendaciones de Trichet (2010) y Kirman (2010).

En el capítulo 2, se construyen las premisas generales de comportamiento que delimitan el modelo. Para ello, se exponen elementos comunes en las ramas de la corriente post-Keynesiana y se toma la idea de no ergodicidad en el sistema (Davidson, 2008). Se sintetiza la interacción de la oferta, demanda y ocupación de Keynes (1936) incorporando a los agentes económicos de esta teoría la definición de racionalidad de IA.

En el tercer capítulo se definen aspectos particulares del comportamiento de los agentes que interactúan en el modelo de simulación. Para ello, se compilan los aspectos y criterios específicos que desarrolló Keynes (1936) sobre la oferta, la demanda esperada, la demanda efectiva, el consumo y la

inversión. Los conceptos anteriores se interpretan con base en la definición de racionalidad de IA (Russell & Norvig, 2004) y la idea de no ergodicidad (Davidson, 2008).

En el capítulo 4 se construye la interacción algebraica específica del modelo matemático, abordando sus limitaciones teóricas y matemáticas. Se analiza la serie de tiempo obtenida de programar el sistema para contrastar la Hipótesis señalada, misma que se reformula en dos premisas a demostrar:

- I. Los ciclos de expansión y recesión son consecuencia de la interacción de los agentes.
- II. El sistema económico no es ergódico y no está determinado por un equilibrio único en el largo plazo.

Para demostrar la afirmación I, se analizan los resultados de la demanda global del sistema. La premisa se confirma si la serie se puede describir en los componentes principales de una serie de tiempo, y en estos se observan las siguientes características: la tendencia no es monótona, y el comportamiento del término aleatorio difiere al componente estacional. Respecto de la afirmación II, también se emplea la demanda del sistema. De esta, se espera que la media y la varianza sean distintas en diferentes cortes temporales. Además, se espera que la distribución de probabilidad asociada a la demanda no sea única.

En la última parte, se exponen las conclusiones de aplicar la definición de racionalidad de IA en la propuesta de Keynes, y de seguir las recomendaciones de Trichet (2010) y Kirman (2010).

Se presenta un anexo con el código empleado para generar los datos de la simulación; las condiciones iniciales; y los principios de modelado de la economía computacional multiagente.

CAPÍTULO 1. La Crítica a los Supuestos de la Teoría *Mainstream*

En este apartado se revisa la crítica relativa al contraste empírico de los supuestos de la teoría económica ortodoxa, pues estos desconectan la teoría del mundo real, hasta el punto en que los economistas emplean demasiado tiempo desarrollando experimentos mentales e historias inteligentes desapegadas de la complejidad de la economía real (Harvey, 2012).

Para mostrar que los ciclos económicos son resultado de la interacción de los agentes económicos, se revisan las corrientes neoclásica y neokeynesiana para determinar qué elementos teóricos se deben descartar para considerar la crisis como parte de la evolución del sistema. Se revisan tales teorías por ser respuestas teóricas que conforman parte del paradigma *mainstream* (Davidson, 2008, p. 566).

Por último, se recuperan las observaciones y recomendaciones hechas por Trichet (2010) y Kirman (2010) a la teoría económica después de la crisis de 2008. Estas señalan la necesidad de reformular el comportamiento de los agentes económicos y considerar el fenómeno de crisis como parte del sistema económico.

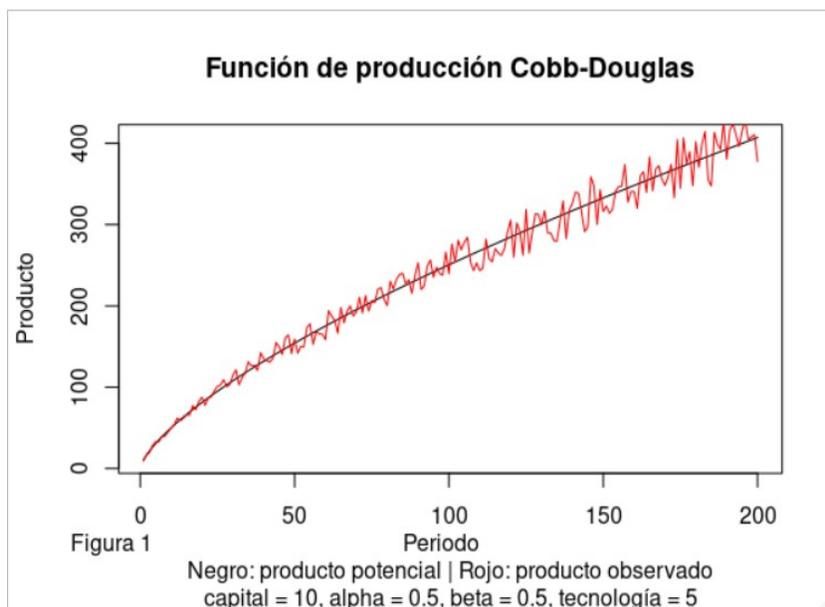
1.1 Los supuestos de la teoría *mainstream*

La crítica de la teoría económica *mainstream* está centrada en su carencia de realismo, y en cómo los aspectos técnicos son el fin de la teoría, en lugar de comprometerse con explicar realidades económicas concretas (Chernomas & Hudson, 2016).

Como ejemplo del razonamiento *mainstream*, se toma la oferta agregada de Lucas (1969, 1972, 1973). En la corriente señalada, una explicación de las diferencias entre el producto potencial y el producto real es la discrepancia en la tasa de inflación esperada y la tasa de inflación observada (Perrotini, 2014). Siguiendo esta lógica, los errores de coordinación de los agentes son causados por las distorsiones que genera la autoridad monetaria en el sistema.

Sin ahondar en los aspectos específicos de la propuesta de Lucas (1969, 1972, 1973), se aplica una función Cobb-Douglas para ilustrar el producto potencial, y a este se le agrega un término aleatorio para simular el producto real. El sistema ejemplificado en la figura 1 cumple con la característica de mantener una tendencia de largo plazo y desviaciones aleatorias temporales. El ejemplo se determina con las siguientes expresiones:

$$Y_t = Y_p + \varphi U[-Y_p, Y_p] \quad ; \quad Y_p = AK^\alpha L^\beta$$



En este esquema², el comportamiento del sistema, para cualquier conjunto de datos, corresponde a la misma distribución de probabilidad, y la variabilidad observada se debe al tiempo y elementos aleatorios externos.

Aunque los modelos teóricos *mainstream* son más complejos, la base de su análisis no dista del ejemplo presentado, y se acepta, de manera implícita, que las características del sistema y el

² En donde Y_p es el producto potencial, Y_t es el producto observado en el periodo. El factor φ es la sensibilidad del sistema a las desviaciones de los precios esperados y observados. El factor $U[-Y_p, Y_p]$ es una desviación del producto potencial dada por una distribución uniforme. La letra A refiere la tecnología; y respectivamente el capital y el trabajo se representan con K y L , siendo α y β , los coeficientes de producción.

comportamiento de los agentes no cambia. Lo anterior implica que la economía no tiene ningún tipo de evolución. En tal sentido, se sigue la idea de ergodicidad en la economía. Sin embargo, tal análisis no es aceptado por todos los economistas, a pesar de ser el pensamiento dominante.

Es posible generalizar las propuestas económicas en el ejemplo anterior si las conclusiones se sustentan supuestos de: expectativas racionales; mercado Walrasiano; equilibrio único; agentes representativos; homogeneidad temporal y de factores productivos (Syll, 2016). Con estas bases, las conclusiones que se deducen deben ser correctas, siempre y cuando los supuestos sean verdaderos. Sin embargo, cuando alguno de los supuestos no tiene contraste en la aplicación real, las conclusiones, por lo tanto, serán falsas. En este sentido, el fenómeno de la crisis es un error de la realidad.

Como ejemplos teóricos de esta postura se mencionan, *grosso modo*, las corrientes neoclásica y neo-keynesiana, mismas que concluyen en recomendaciones de política económica de diferencias sutiles.

La corriente neo-keynesiana acepta imperfecciones en el mercado de trabajo y producto, considera que el segundo se determina por el lado de la oferta y los ciclos económicos se deben a perturbaciones de la oferta causados por rigidez de precios. Este sistema, basado en expectativas adaptativas, se resolvería con un mecanismo de ajuste automático de precios.

En el análisis neoclásico, los agentes económicos interactúan con base en una función de optimización, la cual depende de su posición como consumidores o productores. Los mercados son eficientes y competitivos (Cervantes, 2014, p. 238), en ellos operan los agentes según la hipótesis de expectativas racionales (Lucas, 1971). Para este pensamiento, el producto y sus cambios se determinan por el lado de la oferta.

Las teorías mencionadas, en cuanto a su estructura, apenas difieren por la hipótesis de mercados eficientes, la cual no está presente en la teoría neo-keynesiana. Empero, la diferencia fundamental en la

aplicación de las teorías es relativa a sus recomendaciones de política económica, en particular el uso de la política fiscal y la eficacia de la política monetaria. Sin embargo, al compartir los supuestos de racionalidad y homogeneidad temporal, las conclusiones de ambas teorías se enmarcan por la crítica relativa a la teoría *mainstream*. Por lo anterior, no es posible retomar elementos de estas posturas para demostrar la hipótesis de trabajo.

En la perspectiva del trabajo, dos supuestos explican la mayoría de las inconsistencias entre la realidad económica y las consideraciones teóricas: equilibrio del sistema y homogeneidad temporal. En este sentido, Davidson (2008) considera que hay tres supuestos que determinan la incompatibilidad de la teoría *mainstream* y la economía real: la eficiencia de mercado, las expectativas racionales y la homogeneidad temporal.

1.2 Señalamientos a la teoría económica después de la crisis de 2008

Al haber mencionado los supuestos que describen la teoría dominante, se exponen las recomendaciones hechas a estos después de la crisis de 2008, en particular, a la presunción del comportamiento de los agentes económicos. Cabe resaltar que los señalamientos que se presentan no nacen en tal contexto y forman parte del cuerpo teórico heterodoxo. Sin embargo, antes de la quiebra de Lehman Brother, el rescate de AIG y la pérdida de credibilidad de las agencias calificadoras “la actitud predominante en Washington [era] que el mercado siempre sabe lo mejor” (HOUSE O.R., Waxman, 2008, p. 3).

Desde la crisis, las críticas de la teoría son aceptadas desde los bancos centrales, instituciones como el Fondo Monetario Internacional (Diciembre, 2010), la OCDE (2011) y algunos representantes proactivos de la corriente ortodoxa. Tal es el caso de Alan Greenspan, quien al rendir su testimonio en el Comité de Supervisión y Reforma del gobierno de EUA (HOUSE O. R. Octubre, 2008 p. 37) sostiene el siguiente diálogo con el representante Waxman:

Mr. GREENSPAN. Encontré una falla en el modelo que percibía como la estructura funcional crítica de cómo funciona el mundo, por decirlo así.

Chairman WAXMAN. En otras palabras, usted encontró que su visión del mundo, su ideología, no era correcta, esta no estaba funcionando.

Mr. GREENSPAN. Precisamente. Esa es la precisa razón por la que estaba en shock, porque por 40 años o más había tenido evidencia muy considerable de que [el modelo] funcionaba excepcionalmente bien.

Según la OCDE y el IIE (2011) las premisas básicas de la teoría neoclásica: la hipótesis de los mercados eficientes y la hipótesis de las expectativas racionales (HER), se pusieron a prueba durante la crisis.

De acuerdo con Krugman (2009):

[...] al borrarse las memorias de la gran depresión, los economistas se enamoraron otra vez de las viejas [ideas], la visión idealizada en la cual agentes racionales interactúan en mercados perfectos, esta vez creando ecuaciones de fantasía.

[...] Desafortunadamente, esa romántica y satanizada visión de la economía hizo que la mayoría de los economistas ignoraran todo lo que podría salir mal. [Se desestimaron] las limitaciones de la racionalidad humana que suelen generar burbujas y quiebras.

“La crisis [de 2008] evidenció las serias limitaciones que tienen los modelos económicos y financieros [...] Los modelos macro fallaron al predecir la crisis y fueron incapaces de explicar qué estaba pasando con la economía de una manera convincente” (Trichet, 2010). Considerando los argumentos señalados, es necesario preguntar si las ideas principales de tales teorías son correctas. Asimismo, ¿es posible cometer un error sistemático al suponer que los mercados son eficientes y los agentes deciden con expectativas racionales a la sazón *mainstream*?

La explicación ortodoxa sobre las irregularidades en la evolución de la economía, perturbaciones externas, rechaza de manera implícita que “una economía moderna está compuesta por millones de agentes que interactúan directa o indirectamente unos con otros” (Kirman, 2010). En este sentido, es

erróneo afirmar que cualquier desequilibrio macroeconómico dependa completamente del azar o de malentendidos en las interacciones de los agentes.

Seguir, en rigor, la línea ortodoxa de la teoría implica, por lo menos, esperar a que la economía regrese al estado de equilibrio después de la crisis y luego tenga un comportamiento *mainstream*, sin tomar medidas para modificar el curso de la economía cuando está en dificultades, ignorando, de manera discrecional, los movimientos económicos.

Aunque hay defensores de los modelos ortodoxos y de sus supuestos que concluyen en que “funcionan en condiciones normales y sólo producen dificultades en momentos excepcionales de crisis [se debe reconocer] que las crisis son parte integral de la evolución de la economía y es necesario desarrollar modelos que lo reconozcan” (Trichet, 2010).

Aceptar que los supuestos teóricos no tienen un contraste en la realidad implica, por ejemplo, rechazar que los ciclos económicos son causados por cambios estructurales exógenos, perturbaciones aleatorias o fallos de coordinación entre los bancos centrales y el sistema económico. Lo anterior, permite entender los cambios y los ajustes económicos como elementos propios del sistema, causados por la interacción de los agentes (Kirman, 2010).

Conforme a las afirmaciones señaladas, se justifica la necesidad de abandonar las ideas wallrasianas de equilibrio y vaciado de mercado. Por lo tanto, es un error mantener la estructura *mainstream* dada su incapacidad de explicar un hecho económico. En este sentido, se deben revisar las políticas elaboradas a partir de ellos, pues es peligroso confiar en sólo una herramienta, metodología y paradigma (Trichet, 2010). Para modificar el pensamiento económico y dar así explicación a hechos complejos como la crisis Trichet (2010) sugiere:

[...] repensar las características del *homo economicus* pues las propiedades que los modelos estiman del agente no capturan el mismo comportamiento que tiene durante la crisis [;] reexaminar las características que se asumen a partir de las expectativas racionales [y] mejorar la integración en los modelos económicos del sistema financiero y el papel que tiene en la economía, en tal sentido, es importante no asumir un comportamiento lineal del sistema financiero.

Otras recomendaciones recurrentes a la hora de crear modelos económicos son: incluir información asimétrica; introducir el estado de la confianza; formular comportamientos heterogéneos de los agentes económicos e incluir la incertidumbre. Por lo tanto, la teoría económica debe abandonar la falacia determinista. Lo anterior, aporta argumentos a la necesidad de modificar las concepciones que se tienen de los agentes económicos.

En conclusión, es necesario modificar el principios de racionalidad y la concepción de equilibrio a la hora de analizar la economía. Además, se deben considerar hechos históricos para describir los sucesos económicos.

CAPÍTULO 2. La Propuesta de Keynes y el Análisis post-Keynesiano

Partiendo de la necesidad de reestructurar elementos nodales de la teoría económica, en este capítulo se exponen las bases teóricas que componen el modelo de simulación. Se toma la propuesta post-keynesiana de no ergodicidad en el sistema (Davidson, 2008) y el desarrollo original de Keynes como respuesta de la recomendación de considerar la crisis como parte de la evolución económica (Kirman,2010). Para responder al señalamiento de Trichet (2010), repensar las características del agente racional, se incorpora a los agentes económicos de la propuesta de Keynes (1936) la definición de racionalidad de IA; misma que se presenta en este capítulo.

Los aspectos generales que comparten las diferentes ramas de la corriente post-keynesiana y la propuesta de Keynes se revisan por separado. De la primer corriente se mencionan sus elementos generales y las consecuencias de sus argumentos sobre las propiedades estadísticas de los resultados económicos, en particular, que estas no cumplen con las condiciones de un sistema ergódico. De la segunda, se expone la dinámica de interacción entre la oferta, la demanda y la ocupación, y se aplica la definición de racionalidad del campo de la IA a tal interacción.

El objetivo de este capítulo es obtener premisas generales de comportamiento que delimiten el modelo que se desarrolla en el capítulo 4.

2.1 Aspectos post-keynesianos

La economía post-keynesiana presenta su análisis, en general, retomando la estructura de la revolución de Keynes (1936). En este sentido, “el post–Keynesianismo se distingue [entre otros aspectos] [...] por su enfoque en el principio de la demanda efectiva, tanto en el corto y largo plazo, el estudio de una economía de producción monetizada, un entorno fundamental de incertidumbre, y la premisa de que el tiempo es histórico e irreversible” (Lavoie 2014, p.53). Lavoie (2014) indica que esta postura considera la influencia

de fuerzas endógenas que desestabilizan los mecanismos de ajuste de precios y trabajo. Teniendo así, equilibrios múltiples en los cuales se incluyen crisis financieras y desempleo involuntario.

Tomando la idea de no ergodicidad, Davidson (2008) sugiere la imposibilidad de conocer con exactitud los resultados futuros de la economía a partir de la información que se tiene en el presente, pues las probabilidades de los estados de la economía cambian. Conforme a esta premisa, es viable tomar acciones que modifican el comportamiento de las variables. Se sugiere que, de haber certidumbre completa y tener homogeneidad en las probabilidades del pasado y el futuro, en el largo plazo el equilibrio está determinado y no hay forma de cambiar su estructura (Davidson, 2008).

Con estas premisas, la postura post-keynesiana considera que el gobierno y las instituciones toman roles importantes en la dinámica económica, por ello, las políticas fiscal y monetaria tiene un impacto real en el corto y largo plazo (Lavoie, 2014, p.52).

Los cambios endógenos del sistema y la incapacidad de conocer su estado global imposibilitan que el comportamiento se analice como un proceso determinista o uno ergódico, pues la distribución de probabilidad que gobierna los eventos cambia con el tiempo (Deprez, 2001, p. 35). Cuando no se observa un comportamiento estacionario en el sistema se le considera no ergódico, esta característica es “generada y perpetuada por cambios dinámicos cualitativos” (Deprez, 2001) del sistema. Lo anterior implica que, 1) el comportamiento futuro de la serie no se puede determinar, en el largo plazo, con cualquier conjunto de realizaciones, y 2) la media de un conjunto de realizaciones no es igual a la media del largo plazo.³

³ Un sistema estacionario ergódico se caracteriza por tener la misma media en el largo plazo y en cualquier conjunto de realizaciones; un proceso de este tipo se puede describir con una realización o un conjunto de ellas (Madsen, 2007, p. 98-100). Por lo anterior, se considera que el proceso no ergódico es aquel que no sigue las propiedades señaladas.

“Al reconocer que un contexto no ergódico es fundamental para abordar con precisión la mayoría de las cuestiones económicas, surgen implicaciones importantes para la caracterización adecuada de las expectativas, la inversión y la incertidumbre” (Deprez, 2001, p. 34).

Tal como lo expresó Lucas (1976) en su crítica de la econometría, los cambios significativos en la economía hacen poco probable que los parámetros sean constantes en el tiempo. Aunque en la visión de Lucas la no intervención del gobierno es suficiente para la estabilidad, no se consideran endógenas las perturbaciones económicas. En la idea post-keynesiana, a diferencia de Lucas, se retoma la idea de considerar endógenos los cambios en las variables económicas y se reconoce que el ciclo económico es consecuencia de estos.

Al considerar la incertidumbre como un elemento fundamental del sistema y que la no ergodicidad es consecuencia de las interacciones del mismo, es necesario diferenciar los conceptos.

En términos estadísticos, la incertidumbre relativa a una variable es la varianza cuando se considera la variabilidad de un conjunto de resultados de la misma; al tomar dos variables la covarianza describe la incertidumbre estadística de ellas (Vermeer, 2014).

En un sistema ergódico, la trayectoria de alguna variable o su resultado en cualquier punto del dominio se puede trazar con cierta confianza cuando se tiene información sobre una realización o un conjunto de las mismas. Este concepto se puede aplicar a un proceso estacionario fuerte donde la familia de funciones de distribución de probabilidad no cambia, por lo tanto, la media y varianza son estables. Por lo anterior, en un sistema no ergódico no se pueden describir los resultados de alguna variable con base en las observaciones de la misma.

La condición de no ergodicidad afecta los resultados de la incertidumbre estadística, pues en el sistema, la media, la varianza y las covarianzas cambian en distintos intervalos del dominio. Así, el nivel de incertidumbre que se calcula para diferentes cortes también cambia.

2.2 Elementos generales de la propuesta de Keynes

En la propuesta original de Keynes, la incertidumbre, las variaciones temporales y los desequilibrios son aceptados como las bases del análisis. La dinámica del sistema, de manera general, se puede representar con tres funciones: oferta, demanda, y ocupación; siendo la última el eslabón entre las dos primeras. Las tres funciones presentan la lógica global de interacción económica. Este sistema de determinación endógena depende de una variable independiente y aleatoria, la cual Keynes denomina demanda efectiva. Esta última determina los cambios en la ocupación e inversión. De manera general, los conceptos mencionados son:

Demanda efectiva: se define como la intersección de la función de oferta y la demanda esperada del sistema. Rechazando los supuestos clásicos, la demanda efectiva es una variable aleatoria que determina los cambios en la producción porque puede diferir del total de la ofertada. En el agregado se compone por el “total del consumo probable y la inversión esperada” (Keynes, 1936, p. 252). Con base en esta idea, las decisiones del empresario están sujetas a las realizaciones de la demanda. Conforme las decisiones del empresario se acercan o alejan del valor observado de la demanda, se ajusta el total de ocupación.

Ocupación: determina el volumen de empleo necesario para obtener el precio de la oferta agregada, compatible con la expectativa de la demanda efectiva (Keynes, 1936). En la Teoría General (Keynes, 1936, p. 270), la relación es:

$$N_r = F_r(D_s) \quad (1)$$

Donde N_r es la ocupación requerida, D_s es la demanda esperada, y F_r es la estructura algebraica que determina la relación.

Para elegir el monto de ocupación óptimo, en palabras de Keynes, “el empresario (incluyendo en este término tanto al productor como al inversionista) tiene que hacer las mejores previsiones que estén a su alcance sobre lo que los consumidores podrán pagarle cuando esté listo para abastecerlos (directa o indirectamente)” (Keynes, 1936, p. 72).

Demanda esperada: es el monto que espera recibir el empresario al ofertar el total de su producción (Keynes, 1936) y se expresa como:

$$D = F(N) \quad (2)$$

La función (2) proyecta las ventas con base en los factores ocupados pues “el costo de factores es lo mismo [que los] factores de la producción consideran como su ingreso” (Keynes, 1936, p. 54). Sin embargo, no se considera una igualdad entre el ingreso de los factores y su gasto en momento determinado. Por ello, la función es un pronóstico de la demanda efectiva. Así,

“un empresario que [debe] tomar una decisión práctica respecto a la escala de su producción, no sustentará... una sola previsión indudable acerca [del] importe por la venta de una producción determinada, sino varias previsiones hipotéticas, consideradas según los diversos grados de probabilidad y exactitud.” (Keynes, 1936, p. 55)

Oferta: es la relación entre el volumen de ocupación y el precio de la oferta, dada una expectativa de venta. Esta se considera como un método productivo empleado por el empresario, con el cual está familiarizado. En la *Teoría General* es simbolizada por:

$$Z = f(N) \quad (3)$$

Donde N es el volumen de ocupación y Z es el precio de la oferta compatible con la demanda efectiva esperada. Esta incluye la “memoria” de las expectativas pasadas (Keynes, 1936), por lo tanto, según las especificaciones algebraicas⁴ de (3), el precio de oferta es compatible con el estado de la economía.

La función (3) determina las opciones viables para emprender los cambios en la producción, el producto que se obtiene depende de la calidad y cantidad de la ocupación que se contrate. Los cambios en la curva de oferta están motivados por variaciones en la expectativa de la demanda y del precio del bien ofertado. El cambio total de la oferta está limitado por la ocupación plena y la calidad del trabajo. De acuerdo con Keynes (1936), los cambios en la ocupación, entre otros factores, provocarán rendimientos decrecientes al emplear trabajo cada vez menos calificado.

La actividad que se describe de los agentes depende de las decisiones tomadas a partir de dos tipos de expectativas: corto y largo plazo.

La expectativa de corto plazo se determina con la función de oferta agregada; conociendo la relación que tiene con la función ocupación, la interacción en el sistema entre estas funciones es la siguiente:

- I. $Z < E(D)$: “si para cierto valor de N el importe que se espera recibir es mayor que el precio de la oferta global [...] habrá un estímulo para los empresarios en el sentido de aumentar la ocupación por encima de N y, si es preciso, elevar los costos compitiendo entre sí por los factores de la producción, hasta el valor de N que $Z [=] D$ ” (Keynes, 1936, p.56).
- II. $Z > E(D)$: si los empresarios a un nivel de N no obtienen la ganancia esperada, ajustarán su cantidad óptima de N a la baja, hasta el punto $Z = E(D)$; empujando la demanda de factores productivos a la baja.

⁴ En la forma algebraica puede considerarse “la técnica, los recursos y el costo de factores por unidad de empleo” (Keynes, 1936, p.55).

Para formular las expectativas de largo plazo los empresarios evalúan la efectividad de sus decisiones presentes y pasadas, partiendo de los resultados de las ventas se obtiene el rendimiento de las inversiones. Keynes (1936) sugiere que la efectividad de las decisiones se analice con la eficiencia marginal del capital, misma que se define como la “tasa de descuento que lograría igualar el valor presente de la serie de anualidades dada por los rendimientos esperados del bien de capital, en todo el tiempo que dure, a su precio de oferta” (Keynes, 1936, p.147), considerando el precio de oferta como el costo de reposición del bien de capital. En términos algebraicos la eficiencia marginal del capital se puede expresar como:

$$EMC = n \sqrt[n]{\frac{E(\sum Q_i)}{PO}} - 1 \quad (4)$$

$$PO = \frac{\sum Q_i}{(1 + EMC)^i} \quad (5)$$

Siendo EMC la eficiencia marginal del capital, PO el precio de oferta, n el número de periodos, y $E(Q_i)$ el flujo esperado en el periodo i . En el desarrollo elaborado por Keynes, el monto de inversión es determinado por la expectativa de largo plazo, así, un incremento en los flujos esperados provoca un incremento de la inversión, de lo contrario el incremento de capital productivo no tiene sentido.

La relación entre las expectativas de corto y largo plazo se determina por los valores observados de Q_i pues este monto depende de los flujos reales dados por la demanda efectiva.

2.3 La definición de racionalidad de la IA en la propuesta Keynes considerando no ergodicidad

Las recomendaciones de Trichet (2010), relativas a las características de los agentes económicos y del propio sistema, se cubren en la propuesta de Keynes si las interacciones económicas se analizan en términos de la racionalidad de los algoritmos de IA. Para justificar tal afirmación es necesario desechar la

idea de que las personas llegan a la misma conclusión y hay un modelo que puede predecirlas (Woodford, 2013).

Según la Teoría General, los empresarios y consumidores toman decisiones de producción e inversión con base en la información disponible y consumen o ahorran según su percepción. Ambos intentando maximizar su ganancia y consumo. Sin embargo, al haber incertidumbre en el sistema, a nivel agente y a nivel agregado, las decisiones se toman considerando diferentes probabilidades subjetivas para cada acción posible. Así, la definición de racionalidad que se ajusta al sistema expuesto no sólo depende de maximizar una función de utilidad, ni de asumir que todos los agentes tienen el mismo mecanismo de decisión.

Con base en lo expuesto, se trae de los modelos desarrollados en el campo de la Inteligencia Artificial la siguiente definición de racionalidad:

“En cada posible secuencia de percepciones, un agente racional deberá emprender aquella acción que supuestamente maximice su medida de rendimiento, basándose en las evidencias aportadas por la secuencia de percepciones y en el conocimiento que el agente mantiene almacenado” (Russell & Norvig, 2004, pág. 41).

Así, la racionalidad, en un momento determinado, depende de cuatro factores (Russell & Norvig, 2004, pág. 41):

- La medida de rendimiento que define el criterio de éxito.
- El conocimiento del medio en el que habita acumulado por el agente.
- Las acciones que el agente puede llevar a cabo.
- La secuencia de percepciones del agente hasta ese momento.

El punto más importante según nuestro criterio, es la secuencia de percepciones, pues “un agente tomará una decisión en un momento dado dependiendo de la secuencia completa de percepciones hasta ese instante” (Russell & Norvig, 2004, p. 38). Además, los cuatro elementos pueden ser diferentes para ciertos agentes o ser iguales para otros.

Con base en los elementos anteriores es posible argumentar que el agente racional de Keynes es capaz de aprender interacciones complejas⁵, considera los resultados observados, no asume una distribución de probabilidad única y toma decisiones según sus posibilidades para ajustar su medida de rendimiento. Este ente no asume que los resultados se deben a errores o cuestiones aleatorias, pues entiende la dependencia de las decisiones pasadas; la realización de expectativas que las motivaron; sus preferencias; el estado global de la economía y acepta que lo anterior se debe a la evolución del sistema.

Considerando la definición de racionalidad expuesta y sus elementos, se asume que el agente tiene la certeza de que la economía es un sistema no ergódico, que la evidencia presente no refleja un futuro absoluto, y tiene un conjunto de acciones posibles a llevar a cabo determinadas por el principio de la demanda efectiva.

Estructurando las ideas señaladas de la propuesta de Keynes, la idea de no ergodicidad del marco post-keynesiano y el tipo de racionalidad expuesto, se pueden construir seis premisas que determinan las reglas generales del modelo a desarrollar:

- 1) La interacción del sistema económico provoca cambios endógenos en la distribución de probabilidad de las variables en el tiempo, causando incertidumbre en el corto plazo y no ergodicidad en el largo plazo.

⁵ Se emplea la expresión “interacciones complejas” pues en la racionalidad de los modelos ortodoxos el aprendizaje del agente se limita a la evolución de precios.

- 2) La demanda efectiva es una variable aleatoria, la cual tiene un valor esperado y otro observado, de las diferencias significativas entre estos valores resultan los ciclos económicos.
- 3) Las desviaciones señaladas en el punto dos no serán significativas, siempre y cuando la eficiencia marginal de capital resulte mayor que la tasa de interés.
- 4) La función de oferta agregada, la función de demanda agregada y la función de ocupación, son los elementos deterministas del sistema.
- 5) La función de la demanda efectiva se toma como la expectativa de corto plazo; y la eficiencia marginal del capital como expectativa de largo plazo, ambas son la parte estocástica de la economía.
- 6) Los agentes económicos son racionales en términos de la definición de racionalidad empleada para Inteligencia Artificial.

Los puntos señalados, a los cuales se referirá como: lógica general, resumen el sistema económico dinámico de Keynes, cuyos estados y valores no están relacionados con un parámetro de largo plazo. Así, el cambio en la tendencia y probabilidades de las variables es consecuencia de variaciones en las preferencias de los agentes y de ajustes endógenos de la estructura económica.

CAPÍTULO 3. Expresiones Particulares del Consumo e Inversión

El presente capítulo busca desarrollar las definiciones de comportamiento particular de los agentes que interactúan en el modelo de simulación. Estas, dotarán a los agentes de acciones, objetivos, percepciones, y formas de conocimiento; según su condición de consumidor, trabajador, o empresario. Para ello, se compilan los aspectos y criterios específicos que propone Keynes (1936) sobre la oferta, la demanda esperada, la demanda efectiva, el consumo y la inversión. Los aspectos particulares señalados se interpretan a partir de la idea de no ergodicidad (Davidson, 2008) y la definición de racionalidad de IA (Russell & Norvig, 2004).

En el desarrollo de este capítulo es necesario considerar que los valores se expresan en términos nominales. Así, el desglose que se presenta se sustenta en la siguiente interacción (Keynes, 1936, p.270):

[...]para cada nivel de demanda efectiva, en términos de unidades de salarios, habrá una ocupación total correspondiente, y esta demanda efectiva se dividirá en determinadas proporciones entre el consumo y la inversión.[...]

[...][la cantidad] de ocupación corresponderá, en cada industria, a cada nivel dado de ocupación total. Lo [cual] da el volumen de ocupación en cada industria particular correspondiente a cada nivel de la demanda efectiva total medida en unidades de salario[...]. [...] en estas circunstancias, las funciones de ocupación individual son aditivas en el sentido de que la función de ocupación para la industria en conjunto, correspondiente a un nivel dado de demanda efectiva, es igual a la suma de las funciones de ocupación para cada industria por separado.

Considerando que la expectativa de demanda efectiva determina el volumen de ocupación, el modelo que se plantea se resumen en la siguiente lógica: la expectativa de la demanda en cada industria determina el volumen de ocupación necesario para producir el precio de oferta compatible con tal expectativa. A su vez, la demanda efectiva dependerá del volumen de ocupación y otros factores.

Partiendo de la lógica señalada y que las funciones de ocupación individuales son aditivas, la base del modelo es:

$$\begin{aligned}
N &= F(E(D)) && \text{Función de ocupación} \\
Z &= f(N) && \text{Función de oferta} \\
D &= g(N) + \varepsilon && \text{Función de demanda}
\end{aligned}$$

Con la estructura anterior, se compilan elementos de la Teoría General para proponer funciones particulares de oferta y demanda para el consumo e inversión. La construcción que resulte dotará (en el capítulo 4) a los agentes de acciones, objetivos, percepciones, y formas de conocimiento; según su condición de consumidor, trabajador, o empresario.

3.1 Relación entre la demanda esperada y la demanda efectiva

Como se ha mencionado, la demanda efectiva determina las decisiones del empresario. Las estimaciones de esta variable se realizan a partir de la función de la demanda esperada. Considerando que los resultados de la demanda no son deterministas y asumiendo que a cada valor de la demanda agregada se le asocia una probabilidad, se propone que la expectativa de la demanda para cierto periodo es:

$$E(D_{t+1}) = f(N_{t+1}) + \varepsilon_{t+1} \quad (1.a)$$

En la expresión (1.a) se incluye el término ε , el cual homogeniza los factores no conocidos que determinan la demanda; la acumulación de existencias; la naturaleza aleatoria de la demanda real, y la ausencia de un vaciado continuo y automático del mercado. Los elementos listados explican la diferencia entre las ventas reales y los planes de venta del empresario.

El pronóstico que el empresario hace de la demanda está sujeto a consideraciones subjetivas y objetivas. Las primeras se definen como los impulsos, creencias y ambiciones que el empresario tiene respecto del futuro, en estas se toman en cuenta los flujos esperados de una inversión. Las segundas incluyen las realizaciones de las expectativas subjetivas, el nivel de las variables económicas relevantes y otros elementos importantes para el empresario; tales como costos, depreciación, mermas e inventarios.

Para formar expectativas se considera información de dos tipos: 1) la conocida sobre las condiciones generales de la economía, y 2) las variables que cada agente considera relevantes. El primer tipo de información corresponde a las metodologías vigentes empleadas para cuantificar las variables económicas. El segundo tipo tiene gran variabilidad porque depende de la percepción de cada agente y de metodologías particulares de análisis. La información de esta clase implica que la formación de expectativas no es homogénea. Con estos elementos, cada empresario construye el término $f(N_{t+1})$ para tomar decisiones.

Por el lado de las realizaciones, el valor observado de la demanda depende de las interacciones económicas y las preferencias del consumidor, por lo tanto, la función que mejor describe esta variable puede cambiar conforme las preferencias de los agentes varían. Si se aplica la tautología, “un estado pasa a otro más probable”. El pronóstico de la demanda efectiva, con la información de cada agente, debería aproximarse al valor más probable; sin embargo, este puede variar entre sectores y agentes económicos.

Aunque se tengan políticas y metodologías enfocadas en mantener la estabilidad macroeconómica y empatar las expectativas e información de los agentes, las medidas que se toman no están exentas de omitir o desconocer eventos que provoquen errores de estimación o desviaciones de su valor objetivo.

A pesar de la disparidad de las variables consideradas por los distintos agentes económicos, el conjunto de información empleado para formar expectativas se sustenta en los valores esperados de las variables económicas más importantes. Sin embargo, los miedos, aversiones y preferencias individuales influyen en la toma de decisiones y repercuten en el comportamiento real de las variables, causando cambios no esperados y relevantes en el sistema.

Sin importar que las estimaciones se sustenten en las definiciones más exactas y en los modelos más sofisticados, no es posible eliminar la influencia de la incertidumbre. Sin embargo, el empresario, en su labor creativa, debe tener una idea de *cómo es la demanda efectiva* que le concierne.

3.2 Demanda de consumo

Para esbozar la demanda relativa a la “suma [que] se gastará en consumir cuando la ocupación esté a cierto nivel” (Keynes, 1936, pág.109) es necesario considerar la relación entre las variables del consumo y la ocupación en unidades de ingreso, Y_s . Así, la función que estima la demanda de consumo de la Teoría General es:

$$C_s = \chi Y_s \quad (6)$$

Cuando la proporción del ingreso gastada en consumo, a cada nivel de ocupación, es $1:\chi$ (Keynes, 1936) se acepta que “la suma que la comunidad gasta en consumo depende evidentemente de 1) el monto de su ingreso, 2) otras circunstancias objetivas que lo acompañan y 3) las necesidades subjetivas y las inclinaciones psicológicas y hábitos de los individuos” (Keynes, 1936, p. 110). Lo anterior implica que:

$$C \neq Y ; \quad 0 < \frac{dC}{dY} < 1$$

Las condiciones anteriores homogenizan los elementos 2) y 3) que se señalan arriba. Sin embargo, si tales factores no cambian, la estimación de la demanda de consumo al nivel de ocupación correspondiente a Y_s se volvería determinista. No obstante, los cambios en las características de esos determinantes y en otros factores objetivos tales como: revaluación de los bienes de capital; tasa de interés; política fiscal y expectativas del ingreso futuro (Keynes, 1936, p.111-114) provocan que el consumo sea una variable no ergódica.

Los consumidores, sin duda, toman en cuenta cada elemento señalado de manera diferenciada para sus planes de compra. El trabajo del productor de bienes de consumo, por lo tanto, es inferir cómo cambia, en promedio, el valor de la demanda al variar los elementos objetivos. Los supuestos que sustentan las estimaciones del empresario no pueden asegurar que los resultados esperados sean los observados; empero, proporcionan una base para la toma de decisiones y capturan la evolución de las preferencias. En este sentido, las expectativas respecto de salarios, tasas de interés e ingreso futuro tienen mayor peso en las decisiones de compra como elementos objetivos. Pero la especificación funcional de la demanda de consumo no tiene garantía de ser correcta para todo momento.

Los factores subjetivos, las necesidades subjetivas y las inclinaciones psicológicas, seguramente no son constantes y propician que el consumo tenga un componente no estable en el dominio del tiempo. La variabilidad de las probabilidades será mayor en aquellos productos con mayor sensibilidad a las necesidades subjetivas e inclinaciones psicológicas.

Por lo anterior, la definición algebraica del consumo de la Teoría General se puede modificar para considerar los elementos no objetivos con sus cambios, y los posibles errores de estimación en los factores objetivos. Así, la expectativa de la demanda de consumo es:

$$E(C_s) = \chi Y_s + \varepsilon_s \quad (6.a)$$

El monto realizado de la demanda de consumo para cada industria, empresa o sector es el único elemento observable que hace endógenos los factores objetivos y subjetivos.

3.3 Demanda de inversión

La demanda de inversión se estima en una curva que “[relaciona] la tasa de inversión agregada con la correspondiente eficiencia marginal de capital [EMC]” (Keynes, 1936, p.148). La *EMC* regula el

crecimiento de la inversión del sistema económico, conforme se modifica el volumen de inversión puede crecer o contraerse. De esta relación dependen los ajustes estructurales de la oferta.

En el corto plazo, el precio de oferta puede aumentar debido a “la presión sobre las instalaciones para producir [un] tipo de [bien de] capital [...] [En el largo plazo,] el rendimiento probable bajará según suba la oferta de [...] capital” (Keynes, 1936, p.148). En este caso se tienen dos fenómenos: en el primero, el incremento en el precio de oferta reduce la eficiencia del capital, haciendo necesario que los flujos esperados y realizados sean mayores respecto de los resultados a un precio de oferta menor; en el segundo, el abaratamiento de los bienes de capital provoca que los flujos generados por la inversión de cada empresario sean menores, porque en el mercado hay más competidores.

Con base en las propuestas algebraicas (4) y (5), el valor efectivo de la inversión en las diferentes industrias, y en las empresas al interior de ellas, dependerá de las cotas generales de rendimiento. Respecto de la cota superior, Keynes propone que “La mayor de [las] eficiencias marginales puede [...] considerarse como la eficiencia marginal del capital en general (1936, p.147). Por su lado, el rendimiento mínimo aceptable, aplicable a toda la economía, es la tasa de interés. Con base en lo anterior, una inversión es atractiva si rinde, al menos, el equivalente a la tasa de interés; en caso de ser menor, la inversión no tiene sentido.

Considerando la tasa de interés de referencia del sistema como el porcentaje mínimo de rendimiento de la inversión, se acepta que tal rendimiento es el retorno mínimo aceptable para todos los empresarios; empero, la ganancia efectiva es variable para cada empresario e industria. La disparidad en los resultados individuales se explica, primero, por las diferentes rentabilidades de los sectores; y segundo, por las diferencias existentes en el tamaño de las distintas empresas o industrias, y las respectivas cuotas de mercado. Por lo anterior, a contra pelo de la sugerencia de Keynes, es difícil considerar una *EMC* general.

Otros elementos que propician el incremento al valor del capital son: rendimientos esperados mayores en el largo plazo que en el corto, expectativas de bajas en la tasa de interés e incentivos directos a la producción.

Si un empresario es ortodoxo respecto de la *EMC*, estima variaciones posibles en la serie de retornos esperados. Por lo tanto el cálculo de su tasa de eficiencia se determina con la expresión:

$$EMC = n \sqrt[n]{\frac{E(\sum Q_i + \varepsilon_i)}{PO}} - 1 \quad (7)$$

Partiendo de la *EMC*, la decisión efectiva de inversión se determinará igualando el precio de oferta con los flujos de efectivo esperados. Considerando que la decisión de inversión se evalúa con el límite mínimo de rendimiento, la demanda de inversión se determinará considerando la *EMC* igual a la tasa de interés del sistema.

$$I = \frac{\sum Q_i + \varepsilon}{(EMC + 1)^n} \quad (8)$$

De usar (8) como único determinante de la inversión, al final de cada ciclo se evaluarían los rendimientos del capital, esperando que sean mayores a la curva de tasa de interés real de la economía. Si los flujos obtenidos por llevar a cabo la inversión superan los flujos que se habrían obtenido por invertir a la tasa de interés en activos distintos a los del capital, la curva de demanda de inversión se desplaza a la derecha. Cuando los flujos efectivos difieren significativamente de los esperados y la eficiencia marginal del capital está por encima o por debajo del rendimiento de la tasa de interés, la ocupación de factores cambiará en el mismo sentido de la desviación.

Si este mecanismo de decisión se aplica a otras industrias o a la economía global se puede tener una aproximación de la tendencia de la inversión y ocupación futura.

3.4 Oferta de consumo

La función de oferta de consumo en términos de la oferta agregada se expresa como:

$$ZC = f_c(N_c) \quad (3.a)$$

Pese a la ausencia de la ecuación anterior en la *Teoría General*, expresarla no contradice o distorsiona las ideas de Keynes. La expresión (1.a), denominada en adelante función de oferta de consumo agregada, es consistente con la función de la oferta agregada si el precio de la oferta agregada de consumo Z_c , depende del volumen de trabajo empleado dado un volumen de capital. Aplicando la premisa de racionalidad, el valor de la oferta de consumo se determina con la expectativa de venta de bienes de consumo, así el nivel de empleo demandado por los empresarios dedicados a producir bienes de consumo se decide con las especificaciones de f_c .

Para los empresarios dedicados a la producción de bienes de inversión, la función de oferta no sólo tiene expectativas de corto plazo. La oferta de bienes de inversión también depende de la expectativa de largo plazo, la cual se tratará más adelante. Por ahora se puede considerar que la expectativa de largo plazo está dada y estos empresarios se dedican a reponer el monto del desgaste de capital, para ello contratan la ocupación necesaria.

Conforme a la exposición de la función de oferta agregada se propone una función de oferta de inversión de la siguiente manera:

$$ZI = f_I(N_I) \quad (1.b)$$

En la expresión (1.b), N_I denota la ocupación empleada en la producción de bienes de capital, y ZI es el valor de la oferta de bienes de capital, que, dado el supuesto, es igual al monto de reposición del capital. El precio Z_I garantiza ganancias sobre los costos de producción.

Como se ha mencionado, la ocupación no es indiferente al sector productivo porque las formas de f_c y f_I diferencian la composición orgánica del capital y los precios de oferta obtenidos. Considerando la elasticidad de la producción respecto de los cambios en la demanda, y las habilidades de los trabajadores de cada sector se tiene que:

$$Z=f_c(N_c)+f_I(N_I) \quad (8)$$

En la expresión (8) el elemento N está medido en unidades de ocupación, así los productores de bienes de consumo y de bienes de capital contratan empleo a razón de f_c y f_I , respectivamente. En consecuencia 1) los trabajadores no son contratados en la misma proporción en ambos sectores, y; 2) mantener constante el volumen de la oferta agregada no implica que el incremento o decremento en la ocupación sea 1:1. Por ejemplo, considerando un trabajador empleado en el sector de bienes de consumo, que produce un cuarto de lo que genera otro obrero ocupado en el sector de bienes de inversión; cuando el primer trabajador se retira de la producción, el valor de la oferta total no disminuye tanto como si el segundo dejase de trabajar.

Con base en lo anterior, el problema de los promedios y de los valores agregados se observa al descomponer (5), pues si crece la demanda en un sector con pocos requerimientos de ocupación, el valor de la oferta total será mayor sin que el valor de la ocupación se eleve demasiado. Por lo tanto, el que se mantenga constante o crezca el precio de la oferta agregada no implica que la expectativa de la economía sea netamente halagüeña del lado de la demanda.

En general, con el supuesto de la inversión, el precio de la oferta agregada es determinista dada la expectativa de corto y largo plazo. Si la forma funcional que determina el precio de oferta es conocida, y es igual a la función de producción del empresario, el problema en el corto plazo es la determinación de la cantidad óptima de trabajo que maximice el rendimiento. Sin embargo, a diferencia de las consideraciones

ortodoxas respecto de la maximización de las ganancias, el agente del mundo de Keynes no tiene la certeza de vender todo lo que oferta.

3.5 Ocupación

La ocupación total se distribuye en sector consumo y sector inversión. Según las especificaciones técnicas en las industrias, empresas y sectores; un volumen de trabajo igual, medido en unidades de salario, no produce el mismo valor de oferta. La razón de esta desigualdad se explica con las diferencias de productividad de trabajo y capital.

Asumiendo que las productividades del trabajo y capital son distintas en los sectores, no hay manera de afirmar que el capital y el trabajo son homogéneos y perfectamente sustituibles. Además, la elasticidad de la ocupación tiene mayores probabilidades de ser distinta en cada sector que de ser iguales. Por esto es necesario distinguir entre el precio de la oferta agregada de consumo y el precio de la oferta agregada de la inversión, aunque la suma sea igual al precio de la oferta agregada.

En el análisis de Keynes, el cambio de la demanda agregada no implica una variación proporcional en la demanda de una industria o empresa particular.

La elasticidad de la ocupación de cada industria y el crecimiento diferenciado de la demanda significan que el incremento total de la ocupación, por sí sólo, no es necesariamente un indicador de incrementos de la demanda real total. Para cada sector se debe considerar la influencia que tiene la propensión marginal a consumir, los factores subjetivos, las preferencias y la curva de eficiencia marginal del capital.

Las afirmaciones anteriores hacen incompatible la existencia del mercado único de trabajo, pues se concluye que la ocupación es diferenciada entre sectores.

Un modelo económico que rechace los supuestos clásicos debe considerar diferencias en la productividad y en la elasticidad de la ocupación, así habrá un mercado laboral para cada tipo de industria con un valor propio que ronda un proxy de salario de equilibrio. Por lo tanto, el mercado laboral agregado puede tener un equilibrio temporal sujeto a las interacciones de cada mercado, las realizaciones de cada tipo de demanda y las expectativas de cada industria.

La interacción entre los agentes en el mercado laboral no está sustentada únicamente en las decisiones de la oferta o las condiciones impuestas por los gremios laborales. La ocupación total del modelo cambia respecto del tiempo, la tecnología y la demanda. El empleo de equilibrio será, entonces, entendido como un valor promedio del total del empleo en cada sector y, en el sentido neoclásico, no tendrá un valor de largo plazo, pues la ocupación va a fluctuar conforme a las necesidades del ciclo económico.

CAPÍTULO 4. Sistema Económico no Ergódico

En este capítulo se construye la interacción algebraica que simulará el sistema económico sustentado en la lógica del capítulo anterior. El desarrollo siguiente corresponde a una aplicación algebraica particular. El álgebra presentada (funciones de producción, consumo e inversión) puede ser sustituido por cualquier estructura, siempre y cuando se respeten las premisas generales y se apliquen los cambios necesarios al código (ver anexo). El cambio mencionado, puede realizarse para crear economías ficticias que incluyan reglas de política para evaluar su comportamiento o restricciones en el mercado.

La aplicación que se presenta está regida por el principio de la demanda efectiva y se limita a simular la interacción de agentes en una economía sin gobierno y con mercado autónomo. Con los resultados de la simulación, se evaluará la ocurrencia de ciclos y la distribución de probabilidad asociada a la demanda

efectiva. Los resultados obtenidos se consideran en valores nominales. Al no considerar un vector de precios, se asume que la producción obtenida es igual al precio.

En la primera parte, se exponen las funciones del sistema y la relación entre ellas. Estas se emplearán para demostrar que los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles. En la segunda parte, se presentan las limitaciones teóricas y matemáticas del modelo. En la última parte, se analizan los datos de las interacciones económicas obtenidos al programar el sistema en software y lenguaje R⁶.

El modelo matemático que se presenta simula una economía con los siguientes elementos: 1) dos agentes racionales (Russell & Norvig, 2004), consumidor-trabajador y empresario. 2) Las premisas de interacción de la lógica general. 3) La interacción económica específica de consumo e inversión expresada en funciones de oferta, demanda y ocupación para cada sector.

En los resultados del modelo se espera observar: 1) los ciclos económicos son causados por la interacción de los agentes económicos, 2) el sistema económico no es ergódico y no está determinado en el largo plazo.

Si las premisas se observan, se afirmará que los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles. Lo anterior implica que las bases de Keynes (1936), las concepciones estadísticas de la propuesta post-keynesiana (Davidson, 2008) y la definición de racionalidad del tipo IA mejoran las bases del análisis económico al cumplir con las recomendaciones de Kirman (2010) y Trichet (2010).

Aunque se presentan comportamientos generales de los agentes, se acepta que tales patrones son temporales. En este sentido, la economía puede tener reglas históricas pero no absolutas, en línea con la

6 El código del modelo y las condiciones iniciales se encuentran en el anexo del trabajo.

hipótesis post-keynesiana de resultados históricos. Tal enfoque es relevante para el análisis económico porque permite analizar parte de la compleja interacción económica sin limitar esta a juicios *a priori* que no consideran la evolución de sistema.

4.1 Modelo matemático

Aunque en la Teoría General no existe una forma algebraica específica para las conceptos de oferta agregada, demanda agregada e inversión, se puede emplear cualquier expresión si esta se basa en la lógica general y las características particulares del consumo e inversión expuestas en el capítulo 3.

En el modelo, el ciclo de actividad es igual a un año que se divide en 12 periodos. En cada periodo se contabiliza la producción y la demanda. La demanda esperada determina la cantidad de trabajo empleado y la inversión necesaria. Al final del ciclo se revalúan las expectativas según los resultados acumulados y se ajusta la ocupación. Existen recursos atesorados de los cuales dispone el consumidor, a estos se les denominará ahorro. El sistema está monetizado y emplea el mérito⁷ como unidad de cuenta, medida de valor y medio de cambio. Las cantidades que se presentan se consideran en millones de méritos, pues representan el agregado de la economía en valor nominal.

a) Agente productor

Se propone la función Cobb-Douglas como estructura del precio de oferta de consumo e inversión, diferenciando los coeficientes técnicos de producción en los sectores. La solución de la expresión para el factor trabajo se considera como la función de ocupación, la cual es rígida por un ciclo completo. Los ciclos representan un año y son divididos en 12 periodos. Así, la forma de la producción en sectores consumo e inversión son:

⁷ Brooker, C., & Huq, K. Fifteen Million Merits. Black Mirror. Channel, 4.

Consumo:

$$ZC = A (Kc^\alpha Lc^\beta)$$

Donde ZC es el precio de oferta de consumo, A especifica la tecnología, Kc denota el capital, Lc representa el volumen de ocupación, α y β representan los coeficientes técnicos de capital y trabajo, respectivamente.

Inversión:

$$ZI = B (Ki^{\alpha_i} Li^{\beta_i})$$

En la expresión ZI expresa el precio de oferta de inversión, B señala la tecnología del sector; Ki es el total de capital empleado, Li denomina el volumen de ocupación, α_i y β_i son los coeficientes de capital y trabajo del sector.

Para la función de ocupación se emplea:

$$Lx = \left(\frac{DEx}{Tx (Kx)^{\alpha_x}} \right)^{1/\beta_x}$$

Donde Lx^8 es el la ocupación necesaria, DEx es el volumen de demanda esperada, Tx es la tecnología, Kx el volumen de capital α_x y β_x son los coeficientes de capital y trabajo. Esta expresión es empleada en ambos sectores para calcular la ocupación necesaria.

Suponiendo que el empresario sólo puede tomar la decisión de invertir (I) al inicio del ciclo, emplea el pronóstico de la demanda esperada (Dex), el rendimiento mínimo (la tasa de interés de referencia r) y el número de subperiodos de actividad t ($t = 12$), para adquirir el capital compatible con su expectativa. Considerando ciclos de producción continuos, la inversión pasada k se desgasta, con una tasa de

8 La letra x se emplea para denotar que la función se puede emplear en cualquier sector. Para consumo se emplea la letra c minúscula o mayúscula. Para la inversión se emplea I o i.

depreciación de 10%, pero no “desaparece” entre ciclos productivos, por lo tanto, esta complementa la inversión calculada I. Con esto, el empresario añade al inicio de cada ciclo la parte complementaria a k . Así, la adquisición de capital y la depreciación se modelan como:

$$\begin{aligned} K_{nX} &= DE_X \left(\frac{r}{t} \right) \\ \nabla K_X &= K_{nX} - k_X \\ I_X &= (k_X * depr) + \nabla K_X \end{aligned}$$

En la decisión, K_{nX} indica el capital necesario, el término ∇K_X representa el capital demandado considerando el capital útil. Por último, La expresión I_X es la decisión final de inversión considerando la depreciación del capital ($k_X * depr$). Cuando el cambio es negativo ($\nabla K_X < 0$), se asume como un cambio igual a cero y sólo se repone la depreciación. Reducciones de capital, diferentes a la depreciación, implican destrucción del mismo, acto que el empresario no hará.

En cada periodo se evalúan la diferencia entre la oferta y la demanda del sector, y el resultado se almacena de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Evaluar resultados del periodo} \quad \epsilon_t &= DRX_t - ZX_t \\ \text{Información acumulada:} \quad &\sum \epsilon X_t \end{aligned}$$

Al final del ciclo, se toma la información acumulada para ajustar la demanda esperada.

$$E(DX_{(t+1)}) = ZX_t - \frac{\sum \epsilon X_t}{n}$$

El lado izquierdo denota la demanda esperada en el siguiente periodo. En el lado derecho, ZX_t denota la oferta del sector en el periodo finalizado, la sumatoria de ϵX_t refleja la diferencia efectiva entre la oferta del sector y la demanda real⁹ y n denota el número de periodos ocurridos, en este caso será constante a 12.

⁹ En ϵX_t se consideran los inventarios y la escasez de producción

Dada una expectativa de demanda (DE_x) y un capital existente k_x para el sector de consumo o el de inversión, el algoritmo del agente es:

1. Calcula inversión necesaria:

$$K_{nx} = DE_x \left(\frac{r}{t} \right) t$$

$$\nabla K_x = K_{nx} - k_x$$

si $\nabla K_x < 0$ entonces $\nabla K_x = 0$

$$I_x = (k_x * depr) + \nabla K_x$$

2. Contrata ocupación necesaria:

$$L_x = \left(\frac{DE_x}{T (K_x)^{\alpha_x}} \right)^{1/\beta_x}$$

3. Produce y ofrece

$$ZC = A (K_c^\alpha L_c^\beta) \quad [\text{sector consumo}]$$

$$ZI = B (K_i^{\alpha_i} L_i^{\beta_i}) \quad [\text{sector inversión}]$$

4. Evalúa resultados del periodo y almacena información

$$\epsilon_t = DR_{x_t} - Z_{x_t}$$

$$\sum \epsilon_{x_t}$$

5. Ajusta expectativas con los resultados del ciclo

$$\text{Cambio en oferta: } DE_{x_{t+1}} = DE_{x_t} - \frac{\sum \epsilon_{x_t}}{t}$$

6. Inicia otro ciclo con nueva DE

Restricciones: el agente empresario no puede retirarse del mercado. Deja de producir si la función de producción se indetermina. Tiene a su disposición todos los trabajadores que requiere. No puede modificar la función de producción y los parámetros son fijos. El productor de bienes de consumo no conoce la función que determina el consumo autónomo. Los cambios en la ocupación no son inmediatos, se aplica rigidez laboral por un año, así la ocupación y la oferta no cambian en el periodo, pero se ajustan cada inicio de ciclo. Cuando el cambio en la oferta necesario es menor a cero, el empresario mantiene constante

la ocupación del periodo que termina. La demanda de inversión es igual a la oferta de inversión en todos los periodos.

b) Agente consumidor

El consumo C_s en la simulación depende del ingreso y del consumo autónomo, el cual será determinado por el ahorro disponible. Así la forma del consumo es:

$$(C_s) = \chi Y_s + \varepsilon_s$$

En donde χ es la propensión a consumir, Y_s es el ingreso en el periodo y ε_s es el consumo autónomo que se determina como:

$$\varepsilon_s = g(\phi, sav)$$

En la forma del consumo autónomo, ϕ es la proporción que se gastará del ahorro existente, y sav representa el monto de ahorro.

El ingreso Y_s depende del nivel de ocupación con una remuneración de 1:1. Esta regla no cambia en ningún momento y se considera un factor objetivo. Para incluir factores subjetivos no predecibles y cambios en estos, se proponen que ϕ y χ tengan cambios aleatorios.

En el parámetro χ se proponen cambios aleatorios cada diez años. En el término ϕ se proponen dos variaciones aleatorias. La primera sucede cada diez y determina la segunda, esta última ocurre en cada periodo. El primer cambio tiene la siguiente lógica: con un piso i y un techo j el parámetro ϕ cambia de manera aleatoria cada diez años como se expresa:

$$i \leq \phi \leq j$$

El término anterior, apoyado de una distribución uniforme para obtener números aleatorios, se emplea para definir el consumo autónomo en cada periodo de la siguiente manera:

$$\phi sav \leq \varepsilon \leq sav$$

La condición anterior indica que tal variable toma un valor entre el producto de la preferencia a gastar el ahorro con el ahorro disponible, y el atesoramiento total. En este sentido, el agente decide si gastará todo su ahorro en un periodo o sólo una parte.

En línea con la exposición, ε es el cambio de corto plazo en las preferencias de consumo y ϕ es el cambio en el mediano plazo.

Con base en lo anterior, el comportamiento de consumo en cada periodo es el siguiente:

$$(C_t) = \chi Y_t + g(\phi, sav)$$

La regla muestra que el consumo depende de la ocupación y de las preferencias autónomas. Como se ha expuesto, el consumo puede ser inferior o superior al total de la oferta, pero no indefinidamente mayor a los recursos financieros disponibles.

Restricciones del agente: Tiene que cubrir la deuda (ahorro con valores negativos) si los ahorros y el ingreso son inferiores al consumo. Cuando el ahorro llega a valores negativos, el consumo autónomo es cero hasta saldar el monto del ahorro negativo. Puede ser despedido o contratado cada año y provee toda la fuerza de trabajo que necesita el empresario. No considera la tasa de interés para sus decisiones de consumo ni ahorro. El ingreso que no se consume, se ahorra.

c) Ahorro del sistema

En estricto sentido, el agente consumidor atesora sus recursos, pues no recibe rendimiento por no gastar y tampoco lo presta para que otros agentes se financien. Sin embargo, se referirá como ahorro a este atesoramiento de recursos, cuyos únicos fines son: ser gastado en consumo, o almacenado. Con base en lo

anterior, la propuesta del ahorro y la regla de consumo impiden que el sistema tenga una deuda infinita.

En la regla:

$$(C_t) = \chi Y_t + g(\phi, sav)$$

Cuando sav_t es negativo, el consumo también puede ser menor a cero. En consecuencia, surgen problemas en el paso 4 del algoritmo del productor. Para evitar las incoherencias, el consumo cuando $g(\phi, sav) < 0$ se define sólo por el consumo del ingreso, así:

$$\text{si } \phi_t sav_t < 0 \text{ entonces } DRc_t = \chi Y_t$$

Con lo anterior, el productor reconoce una caída en la demanda. En este caso, el remanente del productor es enviado a inventarios.

Por lo anterior, el ahorro es dado por:

$$sav_t = sav_{(t-1)} + (Y - c)$$

En donde sav_t es el ahorro del periodo, $sav_{(t-1)}$ es el ahorro pasado, el ingreso del periodo es Y , el consumo total es c . En esta expresión, el ahorro aumenta o disminuye según el consumo.

Cuando $sav_{(t-1)}$ es menor a cero, el ingreso remanente se destina a cubrir la deuda; si el remanente es cero, la deuda no se cubre pero tampoco genera intereses. Con base en las reglas, el modelo completo es el siguiente:

1. Calcular inversión necesaria:

$$K_{nx} = DE_x \left(\frac{r}{t} \right) t$$

$$\nabla K_x = K_{nx} - k_x$$

$$\text{si } \nabla K_x < 0 \text{ entonces } \nabla K_x = 0$$

$$I_x = (k_x * \text{depr}) + \nabla K_x$$

2. Calcular ocupación necesaria:

$$L_x = \left(\frac{DE_x}{T (K_x)^{\alpha x}} \right)^{1/\beta}$$

3. Producir y ofrecer:

$$Z_C = A (K_C^\alpha L_C^\beta) \text{ [sector consumo]}$$

$$Z_I = B (K_I^{\alpha i} L_I^{\beta i}) \text{ [sector inversión]}$$

4. Fase de consumo:

$$(C_t) = \chi Y_t + U(\phi, sav)$$

5. Evaluar resultados:

$$\text{si } (C_t) = \chi Y_t + \phi_t sav_t < 0$$

$$\text{entonces } DR_c = \chi Y$$

$$\text{de lo contrario: } DR_c = C_t$$

6. Conocer el estado de la oferta y la demanda del periodo:

$$\text{inversión: } \epsilon_i = DR_i - Z_i = 0$$

$$\text{consumo: } \epsilon_c = DR_c - Z_c$$

$$\text{almacenar información: } \sum \epsilon_x t$$

7. Ajustar expectativas con los resultados del ciclo:

$$\text{inversión: } DE_i = DE_i - \frac{\sum \epsilon_i}{t}$$

$$\text{consumo: } DE_c = DE_c - \frac{\sum \epsilon_c}{t}$$

8. Calcular ahorro:

$$sav_t = sav_{(t-1)} + (Y - c)$$

9. Repetir con nueva DE ;

Si se inicia una nueva década, producir cambios en χ y ϕ

De las variables anteriores, se debe considerar que en la simulación “ χ ” y “ ϕ ” están dados por una distribución uniforme, $U[a,b]$ donde a y b son parámetros dados por las condiciones iniciales del sistema.

El modelo completo que se presenta se programó en lenguaje R, con este se genera la simulación de cuyos datos se sustenta el análisis de la hipótesis de trabajo. El código del mismo está en el anexo correspondiente.

4.2 Límites del modelo

El modelo tiene como principal limitante y dificultad la arbitrariedad de los parámetros y las condiciones iniciales que lo determinan. Lo anterior se replica de la mayor debilidad de los modelos computacionales basados en agentes: el enorme grado de libertad del modelador para elegir los tipos de agentes y sus reglas de comportamiento (Lengnick, 2013, p. 4).

Las limitaciones también obedecen a la forma de la función de producción, mantener constante la tasa de interés y sólo emplearla para calcular la inversión, no considerar un vector de precios y las escasas acciones que puede realizar cada agente.

La función de producción se propone de grado 1 para evitar volatilidad de la oferta, aunque esto no resuelve que se indetermine para valores muy pequeños o grandes de los factores. La función tampoco evoluciona conforme a la dinámica del sistema, sólo se proponen un incremento de 0.01 cada diez años en la tecnología de los sectores. Se considera la tasa de interés como la base del cálculo de los requerimientos de inversión, dejando la eficiencia marginal de capital como una variable a observar pero no explicativa de la simulación.

Mantener constante la tasa de interés en el tiempo reduce el análisis que se podría obtener si hubiera reglas de ajuste de tasas. Empero, la dinámica de tipos de interés no forma parte de las hipótesis del trabajo. Con esta decisión, se puede observar que los cambios en el sistema están determinados por elementos endógenos. Respecto de la tasa, incluirla en las decisiones de ahorro complica la estructura y la programación. En cuando al ahorro, al darle un rendimiento el sistema se indetermina.

El análisis de la interacción de las variables está centrado en la ocupación y demanda de consumo. La oferta de inversión, en el modelo, provee en todo momento los requerimientos demandados por el sistema. Así, nunca tiene escasez de producto o excedentes destinados a inventarios.

Al no considerar un vector de precios, el producto que se obtiene de la función de producción es menor que los insumos, considerando que las cantidades de la serie son en unidades monetarias. Para sortear esto, se propone que el costo del volumen de ocupación es remunerado 1:1, pero el costo para el empresario es de 1:n, con $n < 1$. En este caso, no hay una función específica de costo, pues no es necesaria al suponer que el empresario contrata con base en la expectativa de la demanda y que la oferta de trabajo es infinita.

Para simplificar la programación, el comportamiento está restringido, las decisiones son binarias e iguales en el tiempo. El agente sólo tiene opciones respecto de las cantidades de demanda y oferta. Respecto de otras aplicaciones de modelos de economía computacional multiagente, el desarrollo presentado es minúsculo en tamaño.

4.3 Simulación y resultados

Con base en el modelo señalado, se proponen condiciones iniciales para las variables: demanda esperada, propensión al consumo, un parámetro de gasto del ahorro disponible, tasa de interés, consumo autónomo y los parámetros de las funciones de producción Cobb – Douglas. Aplicando los parámetros, se genera una serie mensual de 2,400 observaciones que permite visualizar el corto y largo plazo.

El tamaño de la serie se elige por dos criterios, 1) considerar la mayor cantidad de información posible, pues la temporalidad de la información es relevante para las hipótesis económicas (y financieras). Como ejemplo se retoma el testimonio de Alan Greenspan (HOUSE O. R., Octubre, 2008 p. 18-19):

“Un premio Nobel fue otorgado por descubrir el modelo de fijación de precios que sustenta gran parte del avance en el mercado de derivados. Este paradigma moderno de administración de riesgos predominó por décadas. Sin embargo, todo el edificio intelectual colapsó [...], porque los datos introducidos en los modelos de administración de riesgo generalmente [cubrían] [...], un periodo de euforia.

En cambio, el modelo se ha ajustado apropiadamente a periodos históricos de estrés, los requerimientos de capital tendrían que ser mucho mayores, y el mundo financiero estaría mucho mejor de lo que está ahora, en mi juicio.“

2) Aplicar la fórmula de tamaño de la muestra para estimar una proporción poblacional con población infinita (Bonilla, 1992, p.105)¹⁰. Para tal caso, el razonamiento es el siguiente: aceptando que los ciclos económicos son parte del sistema, se puede distinguir la ocurrencia de ciclos al observar una crisis. El número de años en que ocurre una crisis y el número de años en que no ocurre se puede describir con una proporción del total de años observados. Por lo anterior, las observaciones requeridas son los años en que puede ocurrir un cambio en la tendencia de la economía.

Con base en el criterio anterior, se asume que la probabilidad de ocurrencia de una crisis es desconocida, por lo tanto, se asigna la probabilidad de 0.5 para el caso de que en un año se presente una crisis y 0.5 al hecho de que no ocurra. Al trabajar con datos simulados y no tener un marco de comparación eficiente para delimitar el intervalo de confianza específico ni el nivel de precisión, se toma un nivel de confianza de 99% y un error de 1% para maximizar el tamaño de las observaciones.

Dados los parámetros, el tamaño de la muestra es 166 años. Tomando tal magnitud como el mínimo de observaciones requeridas y que el costo de incrementar el mismo es casi cero, se genera una serie mensual de 200 años de resultados económicos.

10 Se argumenta la población infinita pues la cantidad de datos a simular depende de la capacidad de cómputo del ordenador.

$$n = \frac{Z^2 PQ}{E^2}$$

n = tamaño de muestra

Z = 2.58 [Z al 99% de intervalo de confianza]

P = 0.5 [Probabilidad de observar crisis en el año]

Q = 0.5 [Probabilidad de no observar crisis en el año]

E = 0.01 [Error muestral especificado]

La serie que se presenta a continuación corresponde a un escenario particular del conjunto de resultados posibles que pueden generarse con el modelo al variar las condiciones iniciales y los parámetros de las funciones (ver anexo). El sistema se eligió por su naturaleza catastrófica, pues se observó en distintas simulaciones que a partir de una tasa de interés de 10% el sistema presenta una tasa de crecimiento promedio anual negativa. Por complemento, se presentan cuatro simulaciones generadas por el modelo. Estas se obtienen al variar la tasa de interés y mantener constantes las demás condiciones iniciales.

La serie simulada debe comprobar que en el sistema propuesto:

- I. Los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles.
- II. El sistema económico no es ergódico y no está determinado por un equilibrio único en el largo plazo.

La primera proposición es la hipótesis de trabajo de la presente exposición, la cual, está alineada con la premisa de reconocer la crisis como un elemento inherente de la evolución de la economía. Cabe destacar que la simulación empleada para comprobarla propone cambios en el comportamiento esperado del agente. Para corroborar la afirmación, la serie se analiza con base en la hipótesis de componentes de una serie de tiempo, esperando que esta se pueda describir por tendencia, ciclo y ruido.

El segundo enunciado corresponde a la propuesta de no ergodicidad del sistema. Para desarrollar la segunda proposición, se revisan las propiedades estadísticas de la serie, esperando que la media, la varianza y la distribución de probabilidad asociada difieran para distintos conjuntos de observaciones. Lo anterior será evidencia de un proceso no ergódico, pues en estos, las propiedades estadísticas no son homogéneas.

I. Los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles.

Para trabajar con la afirmación, se analizan los resultados de la demanda global del sistema. La afirmación se confirma si la serie se puede separar en los componentes principales de una serie de tiempo y en estos se observan características específicas.

La tendencia de la serie completa se debe describir por distintas trayectorias de alzas o bajas. Si la serie presenta una única tendencia, se concluye que la simulación sigue un comportamiento ortodoxo y sólo hay fluctuaciones temporales. Al utilizar la distribución uniforme para generar la parte aleatoria de la demanda efectiva, el componente estacional de la serie debe heredar tal comportamiento, sin importar el tipo de tendencia que se obtenga.

El elemento aleatorio de la serie determinará si hay una interacción verdadera en los agentes. Si el comportamiento de este es igual al componente estacional, entonces la simulación simplemente sigue una distribución uniforme y está en todo momento determinada, de nuevo se obtiene una conclusión *mainstream*.

En caso de obtener una tendencia no homogénea y características diferentes entre el componente aleatorio y estacional, se obtendrá un sistema que *equilibra* los resultados deterministas de la función de producción y la parte aleatoria de la demanda. En la dinámica propuesta, los agentes pueden evaluar sus resultados; tomar decisiones; modificar en cualquier momento sus preferencias y ajustar sus expectativas. Lo anterior, implica que las tendencias y las observaciones se determinan por factores medibles y elementos aleatorios.

En línea con la exposición del trabajo, la interacción de los agentes en la simulación arroja una serie que se puede descomponer en tendencia, estacionalidad y aleatoriedad.

En la gráfica de componentes de la demanda (figura 2) se observa que la tendencia de la simulación no es monótona. El componente estacional hereda la media y varianza de la distribución uniforme. Y la parte aleatoria de la serie no sigue una distribución uniforme. Con las condiciones iniciales dadas, la serie de la demanda agregada del sistema sigue el comportamiento esperado.

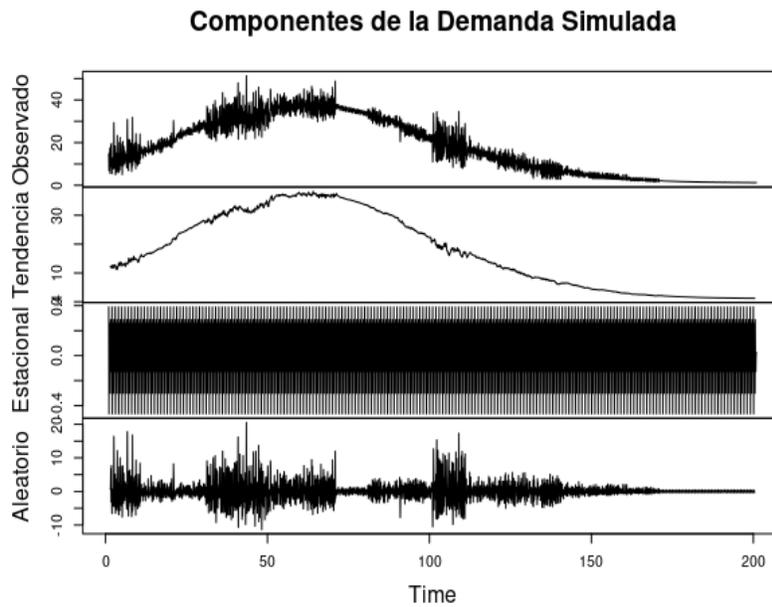


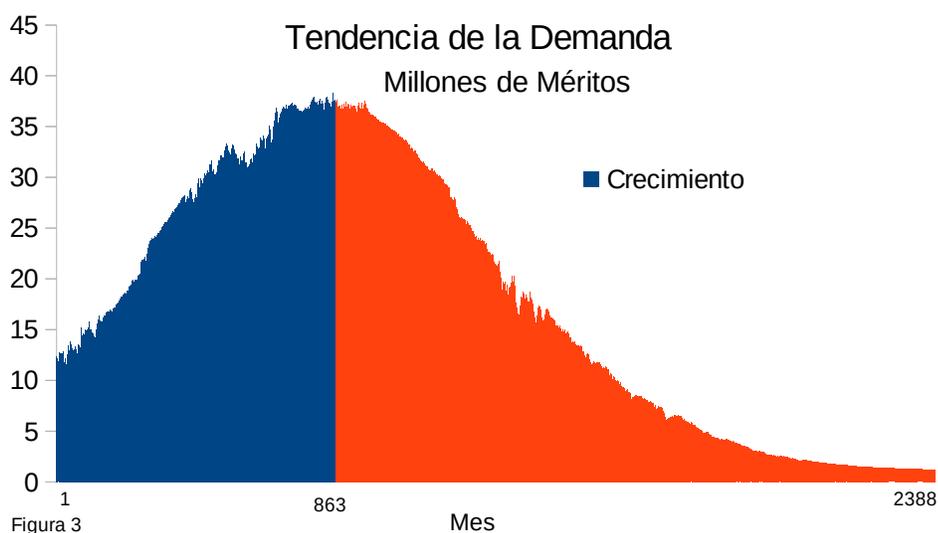
Figura 2

El término estacional, como se esperaba, tiene media y varianza constantes para cualquier corte temporal, sin importar que las observaciones no sean consecutivas. Como se mencionó, el comportamiento de la distribución uniforme se replica en este componente siendo de 0.057 la cuantía de la varianza y cero para la media. No se espera este comportamiento en los otros componentes de la serie.

Abordando el componente de la tendencia de la demanda, se observa, en la figura 3, que 1) las realizaciones mensuales de la serie no están completamente determinadas por el término aleatorio de la demanda o por el comportamiento monótono de la función de producción; 2) el componente se puede dividir en dos etapas: crecimiento y recesión sistemática, y 3) en ambas etapas se observan

perturbaciones. Cabe resaltar que los resultados presentados no se relacionan con la distribución normal ni con la distribución uniforme.

Considerando los valores en niveles, es evidente que la media y la varianza cambian en el tiempo. En la etapa de crecimiento, el promedio de la demanda es de 26.83 millones de méritos por mes. En la recesión sistemática, el promedio es de la mitad, 13.8 millones por mes. La tasa de crecimiento promedio anual en las mismas etapas es del 2.90 y -2.97, respectivamente. Pese al comportamiento gráfico, sistema se deterioró mas rápido de lo que creció.



En el acumulado anual de las primeras diferencias mensuales de la demanda (figura 4) se observan las tendencias de crecimiento. En los primeros 64 años los resultados del sistema son, en promedio, positivos. Sin embargo, estos son estables en los primeros 30 años y volátiles entre el año 31 y 64. A partir del año 65, la tendencia negativa se vuelve la norma, lo cual lleva al sistema dirigido por el principio de la demanda efectiva, a una crisis sistémica, pues las causas de tal resultado son endógenas.

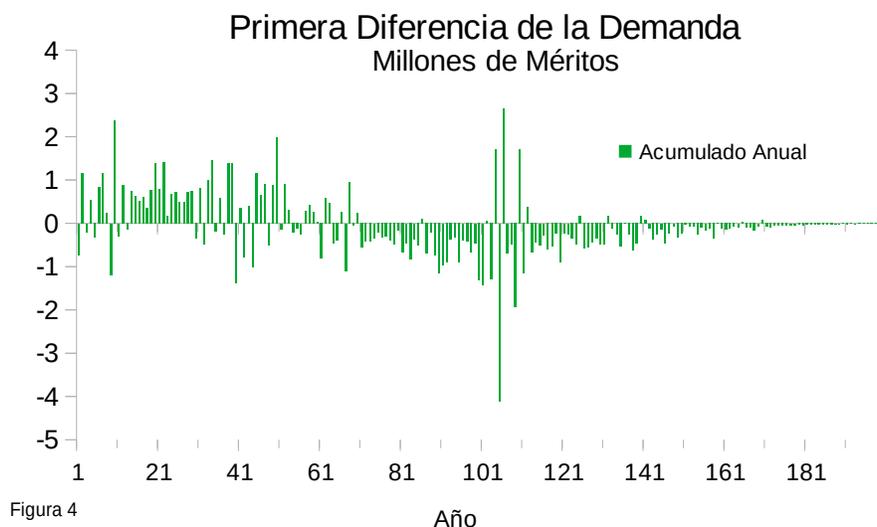


Figura 4

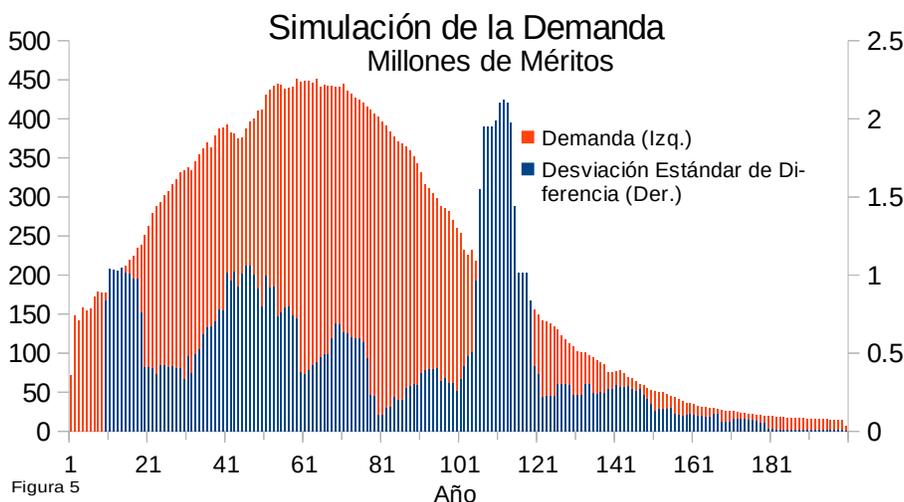
Continuando con las diferencias acumuladas, al revisar la desviación estándar móvil¹¹ de 10 años (figura 5) se pueden diferenciar ciclos de comportamiento. En los niveles más bajos de volatilidad (desviación estándar), se aprecia un comportamiento estable en la tendencia del sistema. Los incrementos en la volatilidad se acompañan de cambios o perturbaciones en la tendencia.

Al observar que el promedio de la desviación estándar no presenta un comportamiento homogéneo ni un valor de largo plazo, se tiene evidencia que apoya la afirmación de ciclos endógenos en la simulación. Cuando se obtiene una media homogénea en la desviación estándar, se acepta que el sistema está en una fase definida de crecimiento o recesión. Cuando la media de la desviación estándar se diferencia de los resultados temporales se concluye que el sistema entra a un ciclo de transición que puede modificar la tendencia en el corto o largo plazo.

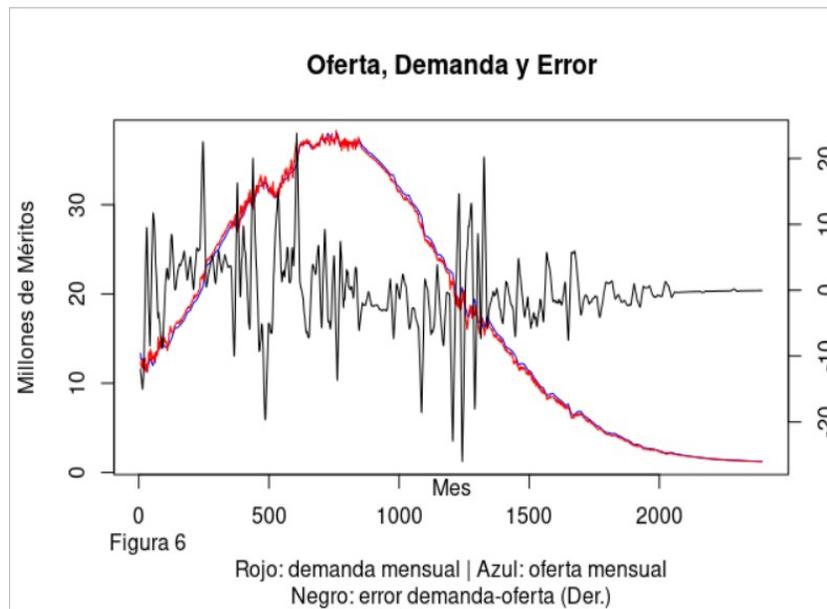
Como se observa en la figura 5, la desviación estándar de la primera diferencia de la demanda tiene una media homogénea entre los años 10 y 20. Para el intervalo de 21 a 35 años, la media de la desviación

11 Para este dato, se aplica el razonamiento de ventanas móviles empleando el cálculo de conos de volatilidad (Burghardt, G., & Lane, M. 1990) a 10 años

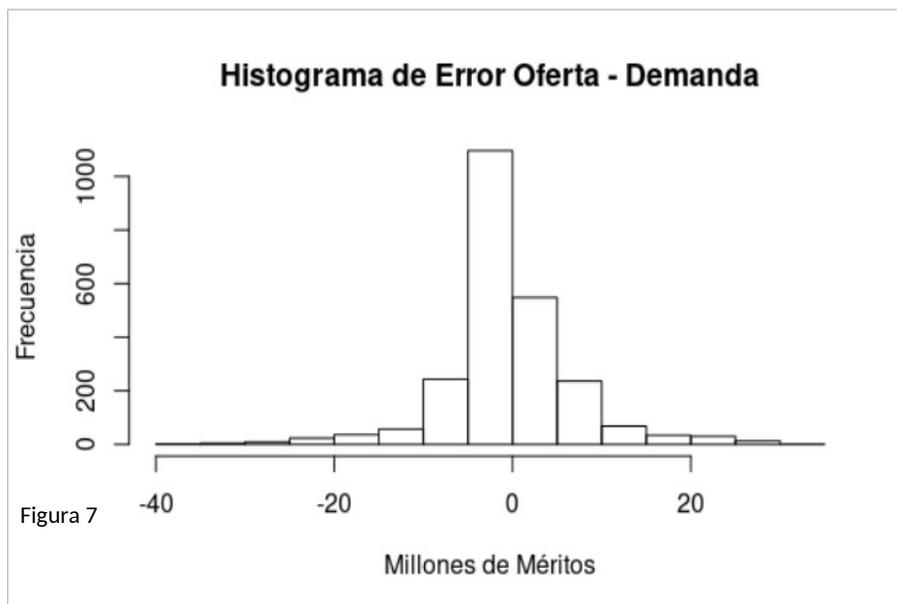
estándar es homogénea al interior del intervalo, pero es distinta al primer periodo señalado. Como se ha señalado, el cambio en el promedio de las desviaciones estándar de la primera diferencia de la demanda confirman la existencia de ciclos. De no haber ciclos económicos, se habría obtenido una media constante para la desviación estándar.



Comparando la tendencia de la oferta y la demanda, se observa que la primera tiende a igualar a la segunda, pero no se llega a un equilibrio de largo plazo. La diferencia entre la oferta y la demanda, el error en la figura 6, muestra que el sistema tiende a un equilibrio contable. Sin embargo, este puede no ser el deseado. Entre los meses 480 y 540, la demanda mantiene una tendencia a la baja de 5 años, de la cual se recupera. Sin embargo, a partir del mes 760 el sistema cae sin tener un ajuste automático. En ambos casos, el error contable tiende a cero, pero tal equilibrio, en este escenario, no es favorable a la actividad del sistema.

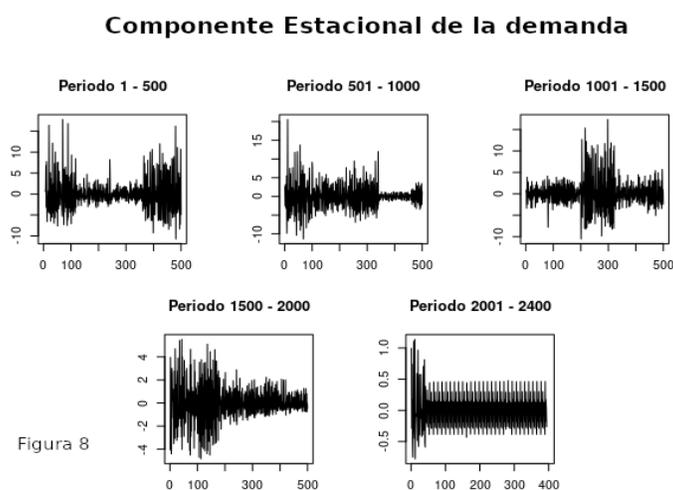


El histograma del error oferta – demanda (figura 7) muestra que el sistema, en promedio, salda la oferta y la demanda, pero hay desajustes continuos. En este escenario es aceptable la idea de un equilibrio entre la oferta y la demanda, y la existencia de fuerzas endógenas que desestabilizan el sistema (Lavoie, 2014)



Respecto del componente aleatorio de la serie (figura 8) este evoluciona y es explosivo en los cambios de la tendencia. Como se esperaba, hay diferencia estadística significativa en la media y varianza para cualquier intervalo. Este hecho muestra que el sistema tiene cambios significativos en cuanto a sus interacciones y al cálculo del riesgo, característica relacionada con los cambios de la desviación estándar de la figura 5.

A pesar de que hay un cambio estructural programado en cada década, este no se relaciona el comportamiento del componente aleatorio. Como se observa, la variabilidad del término de error no tiene un comportamiento uniforme, por lo tanto, la incertidumbre afectará las decisiones de la oferta.



Con base en el los datos las características de comportamiento de estos, se acepta que la interacción simulada de los agentes y su lógica de racionalidad provocan ciclos de tendencia al alza y contracciones. Y, como lo indica Keynes (1936), los resultados económicos están determinados por factores endógenos objetivos, subjetivos, y por la incertidumbre.

II. El sistema económico no es ergódico y no está determinado por un equilibrio único en el largo plazo.

Para comprobar la afirmación, se analizará de nuevo la demanda del sistema. De esta, se espera que la media y la varianza sean distintas en diferentes cortes temporales. Además, al afirmar que las interacciones económicas y su evolución modifican las propiedades estadísticas del sistema, se espera que la distribución de probabilidad asociada al sistema no sea única. Los elementos anteriores corroborarían que la demanda se comporta como un sistema no ergódico.

En la programación de la demanda (ver anexo) se empleó la distribución uniforme, por ello, puede ocurrir que la serie completa se caracterice con tal distribución o una distribución normal. De ser así, la interacción de los agentes y el cambio en sus preferencias no modifica las probabilidad de los resultados económicos. En tal caso, los datos se ajusta a una distribución de probabilidad única, uniforme o normal, y se rechazaría nuestra propuesta de sistema no ergódico, y se deberá aceptar que el sistema está determinado por un equilibrio único y sólo hay fluctuaciones temporales.

Si los resultados de la simulación no se ajustan a una distribución de probabilidad única, normal o uniforme, no se puede rechazar la hipótesis de que el sistema no es ergódico.

Para analizar el comportamiento de la economía, se utilizó la tendencia anualizada de la demanda; esta se dividió en cortes temporales mayores a 6 años¹². Así, se obtienen 18,721 intervalos válidos; para cada uno se aplica la prueba de bondad de ajuste del estadístico Ji-cuadrado a un nivel de significación de 95% para una distribución uniforme. De lo anterior, se tiene que sólo el 26% de los intervalos se ajusta a una distribución uniforme (figura 9). Como se esperaba, las propiedades de la distribución

¹² Se emplea el intervalo para poder obtener el p-value de la función de bondad de ajuste del paquete R: `fitdist {fitdistrplus}` Fit of univariate distributions to non-censored data by maximum likelihood (mle) `gofstat{fitdistrplus}` Computes goodness-of-fit statistics for parametric distributions fitted to a same non-censored data set .

mencionada se diluyen con la interacción económica de los agentes y la cualidad de ergodicidad no se observa.

Cabe resaltar que el tiempo afecta la frecuencia del ajuste. Para los cortes de 6 a 80 años la ocurrencia del ajuste es menor que en los periodos de 6 a 20 años. Respecto del ajuste de los cortes, estos no siguen una distribución normal, por ello, no se afirma que los factores que determina el ajuste sean aleatorios. Por otro lado, los cortes temporales en que la demanda no se ajusta a una distribución uniforme (figura 10) tampoco se distribuyen normalmente. En este sentido, los cambios en el comportamiento de la demanda no dependen de factores aleatorios, dependen de la elección de los agentes y determinantes desconocidos.

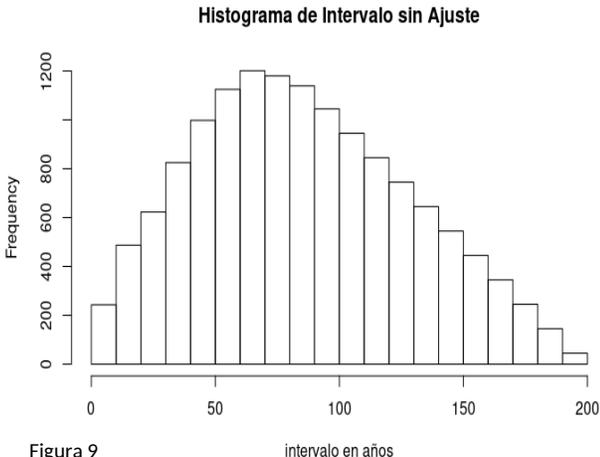


Figura 9

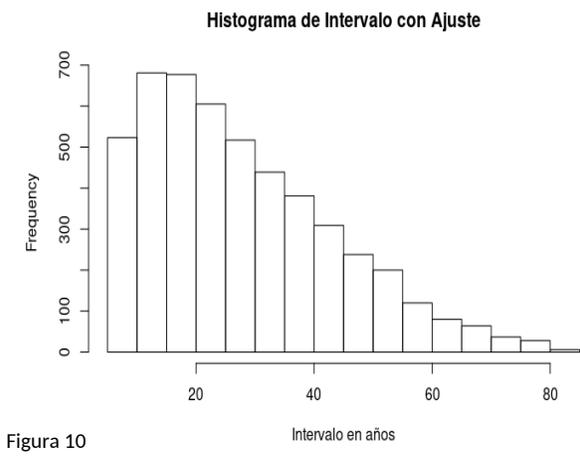


Figura 10

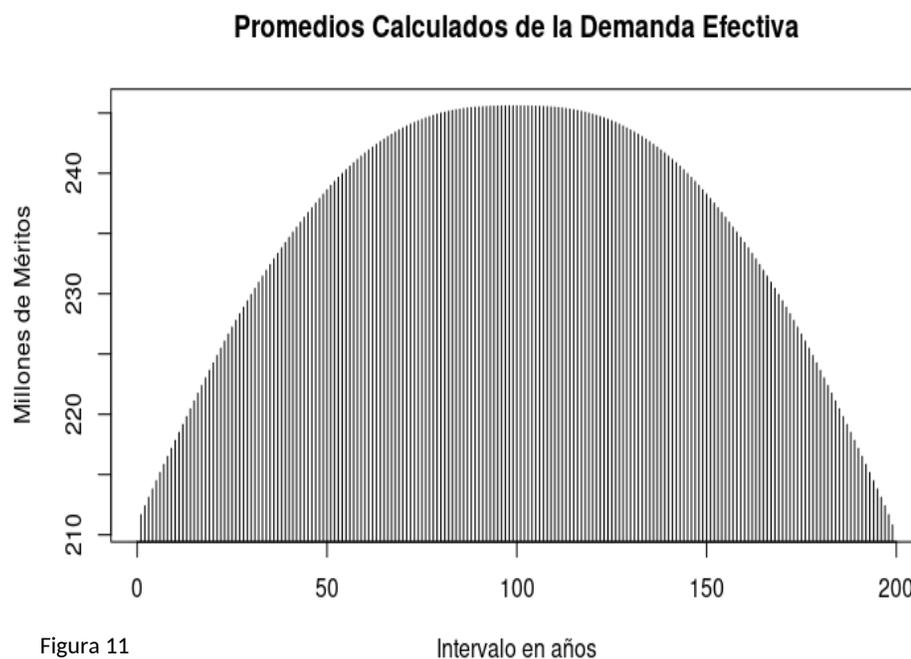
Considerando los resultados de ambos análisis se afirma que el sistema propuesto se determina con las acciones que toman los agentes.

Respecto de la media del sistema, se comparan 4 muestras aleatorias con 50 observaciones¹³ para determinar si existe diferencia estadística en sus promedios. Se utiliza la prueba Wilcoxon para conocer

13 Tamaño de la muestra para varianza y tamaño poblacional conocido $n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot \sigma^2}{d^2 \cdot (N - 1) + Z^2 \cdot \sigma^2}$ N = 200 ; Z = 1.96 ; $\sigma^2 = (153.9101)^2$; d = 37.03

si existe diferencia en los datos. De estas, se concluye que no hay diferencia estadística en los promedios observados de las muestras, esto indica la existencia de un valor promedio de largo plazo en los resultados de la demanda.

Para analizar el resultado de la prueba se calcula la demanda promedio de todos los intervalos válidos¹⁴ (figura 11). De estos, se obtiene un promedio de 235 millones de méritos. Como se observa en la gráfica de promedios de la demanda, la serie tiende al valor mencionado cuando aumenta la cantidad de años considerados¹⁵.



Con base en las pruebas Wilcoxon aplicadas a las muestras y la distribución de los promedios, se cumple que la media de un conjunto de observaciones es igual a la media a lo largo del tiempo.

14 Cada intervalo cumple con: $j - i > 0$; $j > i$; $1 < i < 200$; $1 < j < 200$; en donde j es el límite superior del intervalo, e i representa el límite inferior.

15 Por ejemplo, la frecuencia de un intervalo de 50.

A pesar de tener una media de largo plazo en la serie de la demanda, no se puede concluir que esta se describe como un proceso estocástico; pues la función de probabilidad que describe la serie no es homogénea. Además, la afirmación se confirma al aplicar la prueba Dickey-Fuller¹⁶ a la tendencia de la demanda.

Retomando las afirmaciones propuestas, se concluye, con base en los datos, que los ciclos son causados por las interacciones del sistema, pero los resultados de la dinámica económica no son deterministas ni ergódicos. A pesar de que existe un valor de largo plazo, no hay una distribución de probabilidad única que permita estimar los resultados de la demanda en cada momento. Aunque las diferentes distribuciones compartan la misma media, la variabilidad de las realizaciones que construyen el primer momento son diferentes.

Modificando la tasa de interés y manteniendo constantes las otras condiciones iniciales se presentan cuatro simulaciones creadas por las siguientes tasas: 9%, 10%, 11% y 12%. Cabe señalar que los datos antes analizados corresponden a una tasa de 10%, sin embargo, la figura que se presenta a continuación es una iteración distinta a la desarrollada antes.

En la economía A (figura 12), la tasa de crecimiento promedio anual en los 200 años es de 1.81%. Respecto del modelo analizado antes, contrasta el crecimiento de la demanda. En este escenario la demanda total (consumo e inversión) rebasa los 232 millones de méritos en los primeros 8 años de interacción. Es importante el monto señalado porque es la media de la demanda del sistema antes analizado. Para este sistema, con 9% de interés, la media de la demanda es de 13,753 millones de méritos.

16 Augmented Dickey-Fuller Test
data: trabajo\$demanda_Global
Dickey-Fuller = -2.8874, Lag order = 5, p-value = 0.2045
alternative hypothesis: stationary

También contrasta la estabilidad del sistema, pues la ocurrencia de la crisis sistemática sucede 60 años después que en el sistema ya trabajado. A contrapelo de dicho sistema, en el periodo analizado, la economía A no presenta valores de demanda inferiores al primer año de producción; tampoco alcanza valores de la demanda inferiores a la primer década de interacción.

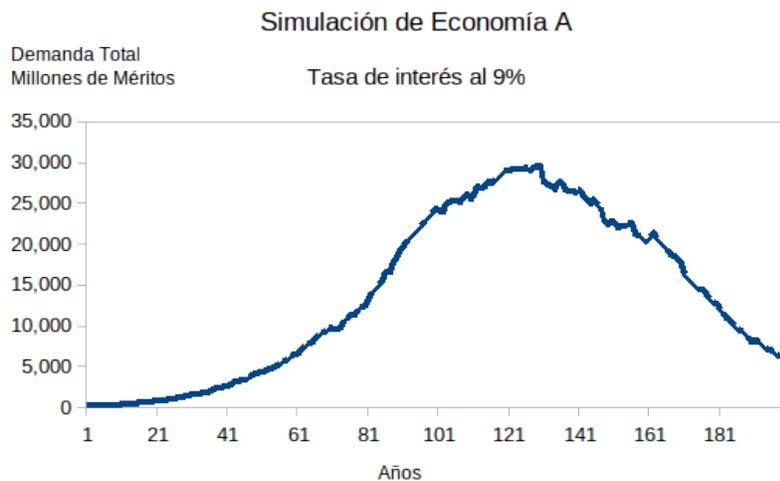


Figura 12

En la economía B (figura 13), las condiciones iniciales y la tasa analizada son las mismas que en el sistema analizado. La media de la demanda total es de 230 millones de méritos y la tasa de crecimiento promedio anual es de -1.18%. Como se esperaba, en esta simulación se observa el comportamiento ya trabajado.

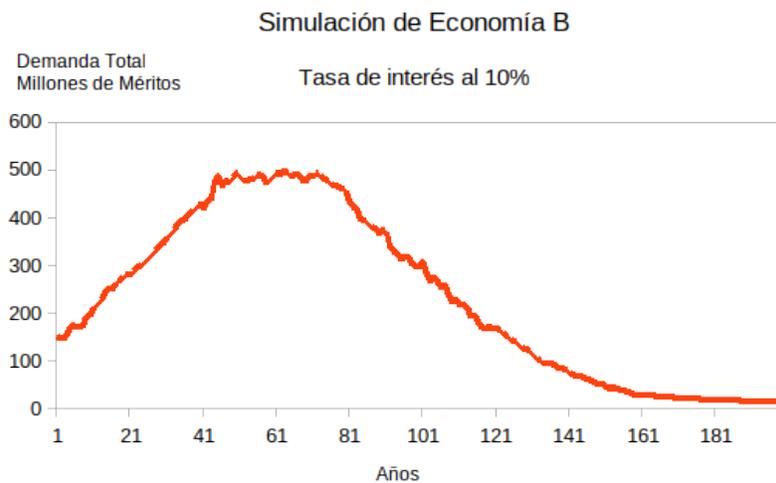


Figura 13

En las economías C (figura 14) y D (figura 15), la tasa de interés compromete la demanda en el periodo analizado. En ambos sistemas, no hay ningún periodo de expansión. Las diferencias en su comportamiento son el promedio de la demanda, la velocidad de caída de esta y el tiempo en que se estanca la demanda en un mínimo.

La economía C presenta un promedio de demanda de 41.4 millones de méritos, la tasa de crecimiento promedio anual es de -1.22% y le toma casi 80 años pasar de una caída acelerada a una caída lenta.

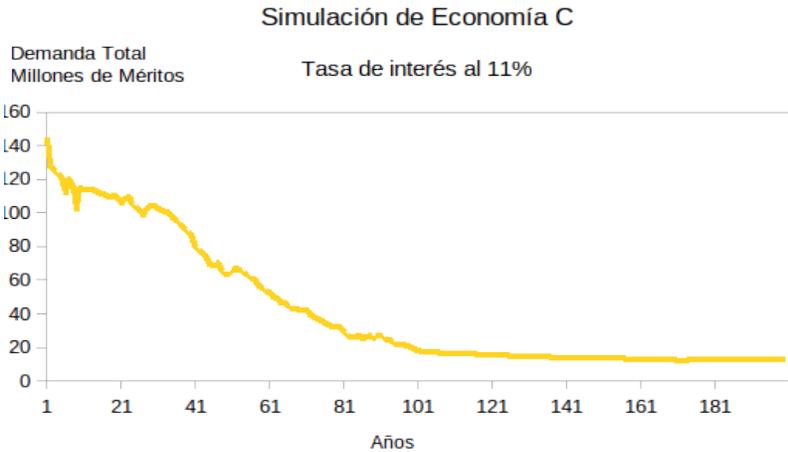


Figura 14

Respecto del sistema D, el promedio de la demanda es de 17.4 millones, la tasa de crecimiento es de -1.21% promedio anual y le toma 20 años estancarse en una caída suave.



Figura 15

Conclusiones

Considerando la crisis de 2008 como evidencia de las carencias de la teoría *mainstream*, es necesario repensar las concepciones que se tienen respecto del comportamiento del sistema económico y de los agentes. En este sentido, el análisis ortodoxo es inductivo, pues las conclusiones de los modelos se llevan a la realidad sin importar la veracidad de ellos. Por lo tanto, dicho método puede generar errores en la descripción de un fenómeno, pues el modelo no se formó a partir de las observaciones reales, al contrario, se construyó a partir de suposiciones.

Aunque las representaciones abstractas no se deben abandonar, es necesario plantear modelos basados en incertidumbre y no hacer suposiciones sobre un comportamiento armónico y homogéneo del sistema. Se deben analizar los datos considerando hechos históricos para formular hipótesis basadas en patrones y tendencias. Al respecto, las ideas presentadas en el trabajo y sus bases son relevantes porque muestran que los supuestos de la economía ortodoxa no son indispensables para simplificar el análisis económico.

En el desarrollo de este trabajo se tomó la propuesta de Keynes y se modeló en términos de la racionalidad propuesta por el campo de la IA. Lo anterior, en la simulación, es consistente con la idea de ciclos endógenos y resultados no ergódicos. Con esto, se acepta la posibilidad de que las acciones económicas presentes modifican los resultados económicos futuros. Del mismo modo, se acepta como una condición natural del sistema la crisis, que en la simulación, sin ninguna intervención, es la solución de largo plazo. Por lo tanto, hay evidencia de la pertinencia de considerar como base de análisis una economía determinada por la demanda.

Aunque gran parte de los conceptos desarrollados en el capítulo 2 no se plasmaron en la simulación, las consecuencias de estos se consideran endógenas en la dinámica de la oferta y la

demanda, pues el comportamiento de los agentes provoca ciclos y cambios en las probabilidades de las variables.

En el análisis presentado de la simulación, se comprobó que los ciclos de expansión, recesión y la tendencia de la dinámica económica están determinados por las decisiones de los agentes y otros factores endógenos no predecibles. Lo anterior aporta evidencia sobre la pertinencia de no considerar las perturbaciones del sistema como hechos externos. Además, al no observarse una distribución de probabilidad única en la simulación, se concluye que la economía presentada no es un sistema estático y evoluciona.

La presencia de ciclos se comprobó al poder describir la demanda en los componentes de tendencia, ciclo y ruido. La tendencia de la serie presenta cambios en su trayectoria que la hacen no derivable, por lo tanto, no se puede expresar con una función específica. El término de ciclo heredó la media y varianza de la distribución uniforme que determina la demanda. El componente de ruido, como se esperaba, difiere del ciclo y muestra que la distribución de probabilidad de la demanda no es única a pesar de estar programada con la misma estructura.

Es importante resaltar que el modelo no cambia su estructura algebraica y depende de números aleatorios originados con la misma distribución, difiriendo sólo en media y varianza. Lo anterior, al interactuar con elementos deterministas (la función de oferta) diluye la unicidad de la distribución de probabilidad de los resultados, reforzando la idea de que el sistema depende de las interacciones de los agentes.

Otro resultado atribuible a la rigidez de la estructura algebraica es la media del producto. Este valor se estimó en 235 millones de méritos y se puede considerar como el producto potencial. Aunque existe en nuestro sistema, aporta evidencia a su calidad de falacia en la economía real. A partir de nuestro

modelo, es necesario que la productividad de los factores y el método de producción no cambien para que exista un producto potencial único. Esto abona argumentos a la hipótesis de resultados económicos históricos.

En el modelo se observó que la oferta y la demanda tienden a un equilibrio, pero esto no es una condiciones de estabilidad. En la parte de caída continua del sistema el equilibrio se mantiene, pero en niveles más bajos de demanda.

Los resultados obtenidos son relevantes por los siguientes aspectos: 1) la estructura global del sistema (las funciones de oferta, demanda y ocupación) no cambia; 2) al haber una estructura estática en el sistema, los cambios en el mismo se explican por variaciones de las preferencias (los parámetros de la demanda); 3) el sistema tiende a un equilibrio entre la oferta y demanda, empero, este no se relaciona con resultados positivos en el sistema.

Respecto de las economías simuladas A, B, C y D, se puede afirmar que el sistema requiere de agentes que regulen la trayectoria de la economía. Aunque los resultados del sistema A y B fueron positivos en la mayor parte del tiempo, la participación de un agente que interviniera en la caída de la demanda, complementando la demanda o moviendo la tasa de interés, podría haber modificado la caída permanente de la demanda. Por su parte, el mismo agente regulador debería haber tomado alguna medida de política para modificar el comportamiento de los sistemas C y D.

El comportamiento de los agentes presentados sugiere la necesidad de un agente regulador, aunque el comportamiento autónomo y libre puede dar resultados positivos, en los periodos de crisis es necesario un agente que modifique el comportamiento corriente.

Con base en nuestros resultados, en línea con las propuestas de Kirman (2010) y Trichet (2010), se reitera la necesidad de considerar las hipótesis económicas y las políticas basadas en estas en su propio

tiempo y contexto, pues los cambios en el comportamiento de los agentes determinan su veracidad y efectividad. En este sentido, la economía debe centrarse en los problemas reales, no en experimentos mentales.

Considerar cambios en los planteamientos económicos no implica eliminar las bases que ya se tienen o destruir teorías por completo. La solución a la discrepancia de la teoría y la realidad, quizá, se encuentre al calibrar las propuestas existentes con la evidencia.

Cabe destacar la utilidad del código desarrollado, pues implementar este tipo de herramientas enriquece el análisis y provee evidencia de las hipótesis planteadas. Tal análisis recupera parte de la vieja metodología de la econometría, pues es necesario evaluar y ajustar las definiciones algebraicas para poder obtener dominios y rangos coherentes con la naturaleza económica. En este caso es posible analizar diferentes hipótesis y las consecuencias de la política económica.

El uso de herramientas de IA en modelos computacionales basados en agentes permitiría encontrar mejores explicaciones sobre fenómenos económicos a partir del análisis de datos de gran volumen. Con ello sería posible evaluar el comportamiento económico de hipótesis complejas.

Aprovechando el reconocimiento de los ciclos, la economía debe dedicarse a mejorar y enriquecer las herramientas de política económica, en este sentido, reconocer qué tipo de medidas se deben tomar y cuándo se deben aplicar o retirar. Lo anterior, en lugar de afirmar *ex-ante* que ciertas políticas son incorrectas dados supuestos *a priori*. Siguiendo los resultados de la simulación, se acepta la idea de una tendencia de largo plazo en los resultados de la economía; empero, la variabilidad de los resultados y la existencia de periodos de recesión, hacen necesarias las herramientas de política económica.

En la exposición anterior subyace el siguiente razonamiento: la Economía no es una ciencia que trata con sistemas naturales que tienden al equilibrio. En los sistemas físicos y biológicos hay una

“programación” innata en los organismos y factores que causan resultados acordes a cada medio o espacio. Pero cada factor se determina por otro y no tiene la “elección” de cambiar. La Economía trata con hechos provocados por un conjunto de “libres albedríos” interactuando. Si este elemento filosófico diferencia al ser humano de todo lo demás, no habría por qué esperar que los sistemas humanos repliquen equilibrios naturales, pues los agentes económicos sí pueden “elegir”, y es precisamente esta característica la que dicta el origen de la incertidumbre.

El trabajo cierra con dos ideas a recalcar: 1) es necesario eliminar la condición ergódica del sistema de las propuestas económicas, y 2) el sistema económico se debe analizar a partir de sus elementos particulares y la interacción de ellos, buscando el comportamiento real, sin suponer un comportamiento *a priori*.

Anexo. Código de Simulación, condiciones iniciales y principios de modelado.

Principios de modelado de la economía computacional multiagente (de fuente electrónica, sin traducir):

(MP1) Agent Definition: An agent is a software entity within a computationally constructed world capable of acting over time on the basis of its own state, i.e., its own internal data, attributes, and methods.

(MP2) Agent Scope: Agents can represent individuals, social groupings, institutions, biological entities, and/or physical entities.

(MP3) Agent Local Constructivity: The action of an agent at any given time is determined as a function of the agent's own state at that time.

(MP4) Agent Autonomy: Coordination of agent interactions cannot be externally imposed by means of free-floating restrictions, i.e., restrictions not embodied within agent states.

(MP5) System Constructivity: The state of the modeled system at any given time is determined by the ensemble of agent states at that time.

(MP6) System Historicity: Given initial agent states, all subsequent events in the modeled system are determined solely by agent interactions.

(MP7) Modeler as Culture-Dish Experimenter: The role of the modeler is limited to the setting of initial agent states and to the non-perturbational observation, analysis, and reporting of model outcomes.

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/ace.htm#ACEObject>

Last Updated: 6 January 2020

Site Maintained By: Leigh Tesfatsion. Research Professor, and Professor Emerita of Economics, Mathematics, and Electrical & Computer Engineering

Heady Hall 260 Iowa State University. Ames, Iowa 50011-1054

<http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/>

Código de modelo:

El código que se presenta omite acentos, fue elaborado en: version.string R version 3.5.1 (2018-07-02)

Para replicar copie y pegue el código en Rstudio y designe valores a las condiciones iniciales.

La ejecución del modelo en distintas ocasiones con las mismas condiciones iniciales, dará series diferentes a las presentadas en las figuras del trabajo, pero los resultados estadísticos serán los mismos. El código puede ser modificado de cualquier forma e introducir cualquier función de oferta, demanda y ocupación, sólo se debe mantener la lógica de interacción, de lo contrario el sistema no arrojará ningún resultado.

Tabla 1. Condiciones Iniciales

Variable	Valor / Función
Tiempo (años)	200
Demanda esperada de consumo	12 (Millones de méritos)
Consumo autónomo	3 (Millones de méritos)
Propensión marginal a consumir inicial	0.18
Gasto mínimo del ahorro	0.20
Gasto máximo del ahorro	0.90
Función de empresarios de bienes de consumo	$ZC = 2 (Kc^{0.30} Lc^{0.70})$
Función de empresarios de bienes de inversión	$ZI = 3 (8^{0.4} Li^{0.6})$

```
#####MODELO DE SIMULACION#####
```

```
#####Condiciones iniciales#####
```

```
r = 0.10 #Tasa de interes global
```

```
years = 200 #años
```

```
#preferencias de consumo
```

```
xi = 0.18 # propension al consumo
```

```
gsave = 0.20 #gasto inicial del ahorro
```

```
ca1 <- 3 #consumo autonomo inicial
```

```
dec = 12 #demanda inicial esperada de consumo
```

```

#Funcion de produccion Consumo
alpC = 0.30      #alpha
betC = 1 - alpC  #beta
tc = 2          #tecnologia

#Funcion de produccion Inversion
ki = 8          #Capital inicial de sector inversion
alpI = 0.4      #alpha
betI = 1 - alpI #beta
ti = tc + 1     #tecnologia
ratedep = 0.1  #tasa global de depreciacion

#####SALIDA DE DATOS#####

#Variables de tiempo:

numr = years * 12          #ciclos (meses de proceso)
x<-c(seq(1,numr , by = 1)) #Multiplos de 12 para dar cierres
k<- c(x*12) + 1           #Multiplos de 12 + 1 para reiniciar los procesos
decada <- (c(1:(years/10))*10 * 12)+1
#Intervalos de tiempo Ty = year mes = Tm
Ty = 1
Tm = 12

#Data base of model
Sistema_salida <- data.frame(matrix(nrow = numr, ncol = 22))
colnames(Sistema_salida) <- c(
  "Year"          , "Mes",
  "Oferta_Global" , "Consumo_Total",
  "Consumo_autonomo" , "Consumo_de_ingreso",

  "Error_Periodo_Oferta_Demanda",
  "Error_Acumulado_Oferta_Demanda",
  "Demanda_de_Inversion","Capital_Inversion",
  "Capital_Consumo" , "Ocupacion_Consumo",
  "Ocupacion_Inversion" , "Ingreso_Total",
  "Ahorro"          , "Prop_Gasto_de_Ahorro",
  "Propencion_Consumo" , "Tecnologia_Consumo",
  "Tecnologia_inversion","Demanda_Global",
  "Oferta_consumo", "Oferta_Inversion"
)

```

```

##### PERIODO INICIAL #####
for (i in 1:numr)      #inicio for

{
  if (i == 1)
  {
    cai = ca1          #Periodo 1. demanda de capital = demanda esperada de condicion inicial
    kc = (dec * (r / Tm)) * Tm #Determinar capital necesario para producir bienes de consumo segun
                                demanda y tasa de interes
    kg = kc + ki        #Capital global, determinado por Ki y el resultado de kc

    dei = kg           #La Demanda de inversion es igual a al capital global

#####Fase produccion #####
# FUNCION DE OCUPACION

#por demanda de Consumo

lc = ((dec)/(tc*(kc ^ alpC))) ^ (1/betC) #Ocupación con el capital determinado en kc

#por demanda de inversion

li = ((dec)/(ti*(ki^alpI))) ^ (1/betI)  #Ocupación con el capital determinado en ki

#FUNCION DE PRODUCCION (cobb - duglas)
zc = tc * ( kc ^ alpC ) * ( lc ^ betC) #Consumo
zi = ti * (ki ^ alpI) * (li ^ betI)   #inversion

#Funcion de oferta
#oferta global consumo
Z = zc + zi

#####Fase Consumo #####

#ingreso, determinado por las unidades totales de trabajo
y = lc + li

#Consumo realizado
c = xi * (y) + cai
cy = xi * (y) #consumo de ingreso

#error de demandas:

```

```
epsic = c - zc
epsii = dei - dei
```

```
#####Ahorro#####
sav <- y - c #- epsic
```

```
#depreciacion periodo
deprec = ratedep * kg
```

```
#DEMANDA GLOBAL
D_G = c + dei
```

```
# VALORES ANUALES
```

```
ecsuma <- 0      #acumulado de error consumo
drsum <- 0      #acumulado de demanda real consumo
```

```
#variables auxiliares
```

```
Idif = 0  #cambio necesario en inversion
```

```
kn = 0    #capital requerido del sector
```

```
anio = 1  #numero de ciclo
```

```
}
```

```
#fin if ciclo inicial
```

```
##### CICLO N #####
```

```
else
```

```
{
```

```
#####Cambios en el sistema#####
```

```
#Cambio en las preferencias entre decada:
```

```
if (is.element(i, decada) == T) {
```

```
  xi <- runif(1, min=0.18, max=0.70)  # propension al consumo autonomo
```

```
  gsave <- runif(1, min=0.20, max=0.90) # propension de gasto del ahorro
```

```
  tc <- tc + 0.01                      #aumento de tecnologia en funcion de produccion consumo
```

```
  ti <- ti + 0.01                      #aumento de tecnologia en funcion de produccion inversion
```

```
  #Estabilidad de preferencias en años
```

```
} else if (is.element(i, decada) == F) {
```

```
  xi = xi
```

```
  gsave = gsave
```

```
  ti = ti
```

```

tc = tc
}
#####Ajuste expectativa#####
#ajuste de demanda de consumo al último
#error observado
#demanda de consumo esperada
#promedio de la demanda de consumo mas
#promedio del error del periodo

if (is.element(i,k) == F) {
  ecsuma <- epsic + ecsuma #acumulado de error observado en cada periodo
  anio = anio #indicador de número ciclo (anio)

} else if (is.element(i, k) == T) {
  ecsuma <- epsic + ecsuma #acumulado de error para el cambio anual
  dec = zc + (ecsuma / Tm) #Ajuste de expectativa de venta por el comportamiento pasado
  #se reinician las variables de decision
  drcsum <- 0
  ecsuma <- 0
  #inicio de nuevo ciclo
  anio = anio + 1
}
###Ajuste en variables economicas segun la nueva expectativa del sistema

#capital necesario, si es cierre
#se determina la inversion requerida
#con demanda espera y depreciacion

if (is.element(i,k)== T)
{kn = (dec * (r / Tm)) * Tm

Idif = kn - kc
if (Idif < 0 ) {
  Idif = 0
} else{Idif = Idif}

dei = (kg * ratedep) + Idif
kc = kc + Idif - (kc * ratedep)
} else {dei = (kg * ratedep)
kc = kc
}

#si la expectativa indica un decremento en la inversion,
#no se modifica el capital, siguiendo la linea de no

```

```

#destruir capital

if (dei > 0) {
  dei <- dei}
else {dei <- 0}

#reposicion de depreciacion mas
#incremento permanente del capital

ki = ki + (ki * ratedep) - (ki * ratedep)
kg = kc + ki

#####Fase Produccion#####
#Consumo

#Rigidez, se ajusta la fuerza de trabajo cada anio
#segun la nueva demanda y capital calculado
#se mantiene la ocupacion por todo el ciclo

# Si la demanda calculada es negativa la cantidad de
#trabajo se mantiene para no indeterminar el sistema:
if (dec <= 0) {
  lc = lc

  # entre cada anio no se cambia la ocupacion por la rigidez anual.
} else if (is.element(i, k) == F) {
  lc = lc

  # al inicio de un nuevo ciclo se ajusta la ocupacion.
} else if (is.element(i, k) == T) {
  lc = (dec/(tc*(kc ^ alpC))) ^ (1/betC)
}

#inversion

li = (dei/(ti*(ki^alpI))) ^ (1/betI)

#FUNCION DE PRODUCCION (cobb - duglas) CON AJUSTES
#ENDOGENOS EN INVERSION Y OCUPACION

zc = tc * ( kc ^ alpC ) * ( lc ^ betC)    #Consumo
zi = ti * (ki ^ alpI) * (li ^ betI)      #inversion

#Funcion de oferta

```

```

Z = zc + zi      #oferta global consumo
y = lc + li      #ingreso - Consumo

#####Fase consumo#####
#consumo autonomo es aleatorio en cada periodo
#pero no puede ser negativo.
cai <- sample((gsave * sav):sav,1,replace = T)
if (cai < 0) {
  cai = 0
} else {cai <- cai}

  c = (xi * y) + cai #Consumo realizado
cy = xi * y #consumo de ingreso

#error de demandas:
epsic = c - zc
epsii = dei - dei

if (is.element(i, k) == T) {
  ecsuma <- epsic
} else {ecsuma <- ecsuma}
  #depreciacion
  deprec = ratedep * kg

#####Ahorro#####
sav = (sav + (y - c))
#DEMANDA GLOBAL
D_G = c + dei
} #fin else Global
#####TABLA DE RESULTADOS #####

#tiempo
Sistema_salida[i,1] <- anio      #1 Year
Sistema_salida[i,2] <- i        #2 Mes
#demanda / oferta
Sistema_salida[i,3] <- Z        #3 oferta global
Sistema_salida[i,4] <- c        #4 consumo realizado
Sistema_salida[i,5] <- cai      #5 consumo Autonomo
Sistema_salida[i,6] <- cy       #6 consumo de ingreso
Sistema_salida[i,7] <- epsic    #7 error de oferta - demanda consumo en periodo
Sistema_salida[i,8] <- ecsuma    #8 error de oferta - demanda consumo acumulado

#ocupacion inversion ahorro ingreso

```

```

Sistema_salida[i,9] <- dei      #9 demanda de inversion
Sistema_salida[i,10] <- ki     #10 capital de inversion
Sistema_salida[i,11] <- kc     #11 capital consumo
Sistema_salida[i,12] <- lc     #12 trabajoC
Sistema_salida[i,13] <- li     #13 trabajoI
Sistema_salida[i,14] <- y      #14 ingreso
Sistema_salida[i,15] <- sav    #15 ahorro
#parametros
Sistema_salida[i,16] <- gsave  #16 gasto ahorro
Sistema_salida[i,17] <- xi     #17 propension a consumir
Sistema_salida[i,18] <- tc     #18 tecnologia consumo
Sistema_salida[i,19] <- ti     #19 tecnologia de inversion
Sistema_salida[i,20] <- D_G    #20 demanda global
Sistema_salida[i,21] <- zc     #21 oferta consumo
Sistema_salida[i,22] <- dei    #22 oferta inversion
} #fin "for" global

plot(Sistema_salida$Mes, Sistema_salida$Demanda_Global, type = "l")

```

Bibliografía

- Ashraf, Q., Gershman, B., & Howitt, P. (2017). Banks, market organization, and macroeconomic performance: an agent-based computational analysis. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 135, 143-180.
- Ayala, I., & Palacio-Vera, A. (2014). The rational expectations hypothesis: An assessment from Popper's philosophy. Levy Economics Institute, Working Papers Series.
- Blanchard, O., & Galí, J. (2010). Labor markets and monetary policy: A New Keynesian model with unemployment. *American economic journal: macroeconomics*, 2(2), 1-30.
- Bonilla, G. (1992). *Estadística II, métodos prácticos de inferencia estadística*. San Salvador, El Salvador. UCA Editores.
- Brooker, C., & Huq, K. *Fifteen Million Merits*. Black Mirror. Channel, 4.
- Burghardt, G., & Lane, M. (1990). How to tell if options are cheap. *Journal of Portfolio Management*, 16(2), 72.
- Carlin W. & Soskice, D. (2005). The 3-Equation New Keynesian Model — a Graphical Exposition. Diciembre 2018, de University College London and CEPR Duke University, LSE and Wissenschaftszentrum Berlin Sitio web: https://www.ucl.ac.uk/~uctpa36/3equation_2005_withtitle.pdf
- Cervantes, M. (2014). *Macroeconomía. Teoría, Política, Simuladores Computacionales y Retos*. México: Laboratorio de Análisis Económico y Social.
- Chernomas, R., & Hudson, I. (2016). *Economics in the Twenty-first Century: A Critical Perspective*. University of Toronto Press.
- Cruz Blanco, M. A. (2010). La política económica del crecimiento sostenido. Encadenamiento de la demanda y la oferta en el crecimiento económico. Universidad Nacional Autónoma de México/Instituto de Investigaciones Económicas.
- Davidson P. (Winter 1991). Is Probability Theory Relevant for Uncertainty? A Post Keynesian Perspective. *Journal of Economic Perspectives*, 5, 129 - 143.
- Davidson, P. (12 March 2012). Is economics a science? Should economics be rigorous?. *real-world economics review*, 59, 58 - 66.
- Davidson, P. (2009). Can future systemic financial risks be quantified?: ergodic vs nonergodic stochastic processes. *Brazilian Journal of Political Economy*, 29(4), 324-340.
- Davidson, P. (2009). *The Keynes Solution The Path to Global Economic Prosperity*. USA: Palgrave and Macmillan.
- Davidson, P. (Diciembre 2008). Post World War II politics and Keynes's aborted revolutionary economic theory. *Economia e Sociedade*, 17, 549-568.
- Deprez, J. (2000). Risk, Uncertainty, and nonergodicity in the determination of Investment-backed Expectations: a Post Keynesian Alternative to Posnerian Doctrine in the Analysis of Regulatory Takings. *Loy. LAL Rev.*, 34, 1221.
- Gilbert, N., and Banks, S. (2002). Platforms and methods for agent-based modeling. *Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A.*, Volume 99, Supplement 3, 7197–7198.
- Haber, G. (2008), 'Monetary and fiscal policy analysis with an agent-based macroeconomic model', *Journal of Economics and Statistics (Jahrbuecher fuer Nationaloekonomie und Statistik)* 228(2+ 3): 276-295.

- Hall, R. E. (2010). Why does the economy fall to pieces after a financial crisis?. *Journal of Economic perspectives*, 24(4), 3-20.
- Harvey, J. T. (2012). How economists contributed to the financial crisis. *Forbes*, 2, 2012.
- Hayes, M. (2008). *The Economics of Keynes: A new guide to the General Theory*. Edward Elgar Publishing.
- Hiç, Ö. (2018). The Evaluation of Post-Keynesian Economics A Comparative Analysis. *GSTF Journal on Business Review (GBR)*, 4(1).
- Hirai, T. (2009). Mark G. Hayes, *The Economics of Keynes: A New Guide to The General Theory* (Cheltenham and Northampton: Edward Elgar, 2006), pp. xvi, 257, £25. ISBN 13: 978-1-84720-082-2. *Journal of the History of Economic Thought*, 31(1), 122-125. doi:10.1017/S1053837209090129
- HOUSE, O. R. (2008, October). The financial crisis and the role of federal regulators. In Hearing before the Committee on Oversight and Government Reform, One Hundred Tenth Congress, Second Session, October (Vol. 23, pp. 110-209).
- Hudson I., & Chernomas R.. (2016). *Economics in the Twenty-First Century*. Toronto: University of Toronto Press.
- Hudson, M. (2000). The use and abuse of mathematical economics. *Journal of Economic Studies*, 27(4/5), 292-315.
- Keynes J.M. (2012). *Teoría General de la Ocupación el Interés y el Dinero*. México: Fondo de Cultura Económica
- Keynes, B. (2002). *Post Keynesian econometrics, microeconomics and the theory of the firm*. Edward Elgar Publishing Limited.
- Keynes, J. M. (2013). *A treatise on probability*. Courier Corporation.
- King, J. E. (2013), A Brief Introduction to Post Keynesian Macroeconomics, *Wirtschaft und Gesellschaft* 2013, Band 39 Nr.4, S485-508
- Kirman A. The Crisis in Economic Theory (April 2011). *Rivista Italiana degli Economisti*, Vol. 1, April 2011. Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=1784210>
- Kirman, A. (2009). Economic Theory and the Crisis. *real-world economics review*,(51): 80–83. URL <http://www.paecon.net/PAEReview/issue51/Kirman51.pdf>
- Krugman, P. (2009). How did economists get it so wrong?. *New York Times*, 2(9), 2009.
- Lars Syll. (2016). What is mainstream economics?. Noviembre 2018, de *Real-World Economics Review Blog* Sitio web: <https://rwer.wordpress.com/2016/11/02/what-is-mainstream-economics/>
- Lavoie, M. (2014). *Post-Keynesian economics: new foundations*. Edward Elgar Publishing.
- Lucas Jr, R. E., & Rapping, L. A. (1969). Real wages, employment, and inflation. *Journal of political economy*, 77(5), 721-754.
- Lucas, R. E. (1976, January). Econometric policy evaluation: A critique. In *Carnegie-Rochester conference series on public policy* (Vol. 1, No. 1, pp. 19-46)
- Madsen, H. (2007). *Time series analysis*. Chapman and Hall/CRC.
- Mükerrem Hiç, & Özlen Hiç-Birol. (2003). Post-Keynesian Economics. *Journal of E.A.S.*, I - II, 45 - 68. Diciembre 2018, De Marmara University, Faculty of Economics.

- Nicolas Zorn. (2016). Post-Keynesian Economics, an introduction. Diciembre 2018, de Research Gate Sitio web: https://www.researchgate.net/publication/303631716_PostKeynesian_Economics_an_introduction
- OCDE-UNAM (2011), De la crisis a la recuperación: Causas, desarrollo y consecuencias de la Gran Recesión, OECD Publishing-Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM
- Perrotini Hernández, I. (2007). El nuevo paradigma monetario. *Economía UNAM*, 4(11), 64-82.
- Perrotini, I. (1998). Keynes después de Friedman, Friedman después de Lucas y Lucas después de Lucas. *Economía Informa*, 263, 92-98.
- Perrotini, I. (2014). El nuevo consenso en teoría y política monetaria. En S. Rivas, C. Aceves, E. Castillo y F. Venegas, *Teoría Económica: un panorama contemporáneo* (págs. 1-34). México: Universidad Panamericana, UDLAP, IPN.
- Syll, L. P. (2010). What is (wrong with) economic theory. *Real-world economics review*, 55, 23-58.
- Teglio, A. (2011). From agent-based models to artificial economies (Doctoral dissertation, Universitat Jaume I).
- Trichet, J. C. (2010). Reflections on the nature of monetary policy non-standard measures and finance theory, Opening address at the ECB Central Banking Conference. Frankfurt, Germany, 18.
- Valdivieso, C., Valdivieso, O., & Valdivieso, R. (2011). Determinación del tamaño muestral mediante el uso de árboles de decisión (No. 0311). Universidad Privada Boliviana.
- Vermeer, M. (2014). Statistical uncertainty and error propagation. Retrieved from users. tkk. fi.
- Walling, M. A., & Abrahamson, N. A. (2012). Non-ergodic probabilistic seismic hazard analyses. In *Proceedings of the 15th world conference on earthquake engineering*.
- Woodford, M. (1999, June). Revolution and evolution in twentieth-century macroeconomics. In presentado en la conferencia *Frontiers of the Mind in the Twenty-First Century*, Washington, Library of Congress (pp. 14-18).
- Yellen, J. L. (2016). *Macroeconomic Research After the Crisis: a speech at the 60th annual economic conference sponsored by the Federal Reserve Bank of Boston, Boston, Massachusetts, October 14, 2016. Speech, Board of Governors of the Federal Reserve System.*
- Zorn, Nicolas. (2016). Post-Keynesian Economics, an introduction. 10.13140/RG.2.1.2556.6328.