



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS

SISTEMAS QUE SE AUTOORGANIZAN CRÍTICAMENTE: SIMULACIONES Y ANÁLISIS

UN PRIMER MODELO PARA ESTUDIAR CRISIS FINANCIERAS BAJO EL PARADIGMA DE LOS SISTEMAS QUE SE AUTOORGANIZAN CRÍTICAMENTE

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE FÍSICO**

ANTONIO PAOLO TRÁVEZ MONGE

antonio.travez@epn.edu.ec

DIRECTOR: RAMON XULVI-BRUNET

ramon.xulvi@epn.edu.ec

DMQ, AGOSTO 2023

CERTIFICACIONES

Yo, ANTONIO PAOLO TRÁVEZ MONGE, declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Antonio Paolo Trávez Monge

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Antonio Paolo Trávez Monge, bajo mi supervisión.

Ramon Xulvi-Brunet
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el(los) producto(s) resultante(s) del mismo, es(son) público(s) y estará(n) a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

Antonio Paolo Trávez Monge

Ramon Xulvi-Brunet

RESUMEN

En los últimos años, comprender las crisis financieras se ha vuelto más que un tema de investigación, una necesidad. Debido al gran impacto que puede generar una crisis financiera en la economía y en ausencia de una teoría capaz de explicar en su totalidad este tipo de crisis, hace pensar que tal vez el estudiar de la manera convencional a la economía (teorías “clásicas”) no está dando los resultados esperados. En este trabajo, considerando que las economías pueden experimentar ciclos de *boom and bust*, se busca modelarla bajo una perspectiva diferente, y que además sirva para estudiar las crisis financieras. En este sentido, se propone construir un modelo basado en los sistemas que se autoorganizan críticamente, considerando a las empresas, los trabajadores, la banca y el banco central como los encargados, a través de sus acciones, de la dinámica de la economía. A partir de ciertas condiciones iniciales y parámetros, los resultados revelan que el modelo es capaz de producir ciclos de *boom and bust*. Además, bajo ciertos criterios propuestos, se pudo identificar la presencia de una crisis financiera. Este trabajo de investigación, marca un inicio en el modelamiento de la economía desde otro punto de vista, siendo capaz de captar los aspectos más importantes de los ciclos de *boom and bust*, y además identificar las crisis financieras, lo cual puede ser útil en un futuro para entender en su totalidad este tipo de crisis.

Palabras clave: Economía, Crisis financieras, Sistemas que se autoorganizan críticamente, Ciclos de *boom and bust*, Banca, Empresas, Trabajadores, Banco central

ABSTRACT

In recent years, understanding financial crises has become more than a research topic; it has become a necessity. Due to the significant impact that a financial crisis can have on the economy and the absence of a theory capable of fully explaining this type of crisis, it leads to the thought that studying the economy through conventional means (i.e., classical theories) may not be yielding the expected results. In this study, considering that economies can experience boom and bust cycles, the aim is to model them from a different perspective, which can also be used to study financial crises. In this regard, the proposal is to construct a model based on self-organized critical systems, considering firms, workers, banks, and the central bank as the actors responsible for the dynamics of the economy through their actions. Based on certain initial conditions and parameters, the results reveal that the model is capable of producing boom and bust cycles. Furthermore, using certain proposed criteria, the presence of a financial crisis could be identified. This research marks a new beginning in modeling the economy from a different viewpoint, capable of capturing the most important aspects of boom and bust cycles and identifying financial crises, which could be very useful in fully understanding this type of crisis in the future.

Keywords: Economy, Self-organized critical systems, Boom and bust cycles, Banks, Firms, Workers, Central bank

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Objetivo general	5
1.2. Objetivos específicos	5
1.3. Alcance	6
2. Metodología	7
2.1. Empresas	7
2.2. Trabajadores	10
2.3. Banca	13
2.4. Banco central	15
2.5. Evolución del ahorro total en la economía	17
2.6. Dinámica de la economía	19
2.7. Simulación	31
3. Resultados, conclusiones y recomendaciones	34
3.1. Resultados	34
3.1.1. Evolución de las variables que determinan la dinámica de la economía	34
3.1.2. Crisis Financiera	46
3.1.3. Ciclos de <i>boom and bust</i>	48

3.2. Conclusiones y recomendaciones	50
A. Programa	52
B. Evolución de las variables durante un periodo de 1000 meses	66
Bibliografía	73

Índice de figuras

1.1. Ciclos de <i>boom and bust</i> . La actividad económica se la podría medir por ejemplo con el PIB real.	2
1.2. Círculo Vicioso.	2
1.3. Círculo Virtuoso.	3
3.1. Evolución de los créditos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	35
3.2. Evolución de los gastos operacionales y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	36
3.3. Evolución de la producción y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	37
3.4. Evolución de la tasa de interés y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	38
3.5. Evolución de las inversiones y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	39
3.6. Evolución de los consumos directos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	40
3.7. Evolución de los precios y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	41
3.8. Evolución de los sueldos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	42

3.9. Evolución del indicador de pago de cuotas de interés y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses	43
3.10Evolución del dinero en la economía durante un periodo de 100 meses	44
3.11Evolución del ahorro total durante un periodo de 100 meses	45
3.12Evolución de las variables que se consideran más relevantes en la detección y evaluación de las crisis financieras	46
3.13Evolución de la producción durante un periodo de 1000 meses	49
3.14Evolución del ahorro total durante un periodo de 1000 meses	49
B.1. Evolución de los créditos directos durante un periodo de 1000 meses	66
B.2. Evolución de los gastos operacionales durante un periodo de 1000 meses	67
B.3. Evolución de la tasa de interés durante un periodo de 1000 meses	67
B.4. Evolución de las inversiones durante un periodo de 1000 meses	68
B.5. Evolución de los consumos directos durante un periodo de 1000 meses	68
B.6. Evolución de los precios durante un periodo de 1000 meses	69
B.7. Evolución de los sueldos durante un periodo de 1000 meses	69
B.8. Evolución del indicador de pago de cuotas de interés durante un periodo de 1000 meses	70
B.9. Evolución del dinero circulando en la economía durante un periodo de 1000 meses	70
B.10Evolución del dinero total que tiene la banca durante un periodo de 1000 meses	71
B.11Evolución del dinero emitido por el banco central durante un periodo de 1000 meses	71

Capítulo 1

Introducción

Los ciclos de *boom and bust* son una serie de periodos por las que atraviesa la economía, pasando por periodos de expansión (boom) y contracción (bust) [1, 2, 3]. Una vez que la economía llega al final del periodo de contracción, llamado depresión, el sistema empieza a recuperarse, entra en el periodo de expansión y continúa evolucionando hacia el final, conocido como auge, para luego volver a caer y empezar todo de nuevo (ver Figura 1.1) [1, 3]. Esta secuencia de cambios, aunque no se presenta de manera periódica, sí se presenta de forma repetitiva [1, 2, 4].

Durante el periodo de contracción o recesión se genera una especie de círculo vicioso “temporal” con caídas en cascada de la producción, el empleo, los ingresos y las ventas, las cuales provocan una mayor caída en la producción, extendiéndose de una industria a otra (Figura 1.2) [4, 5]. Cuando la recesión llega a su fin, empieza la recuperación del ciclo y el círculo vicioso de la recesión se invierte y pasa a ser un círculo virtuoso donde incrementos en la producción desencadenan la creación de empleos, aumentos de los ingresos y aumento en las ventas, las cuales provocan un mayor incremento de la producción (Figura 1.3) [1, 4, 5]. Esta recuperación puede persistir y dar como resultado una expansión económica duradera, siempre y cuando se asegure que este círculo virtuoso no se rompa [5].

En general, existen muchos factores que pueden afectar a la economía y terminar llevándola hacia un círculo vicioso, a lo cual solemos llamar

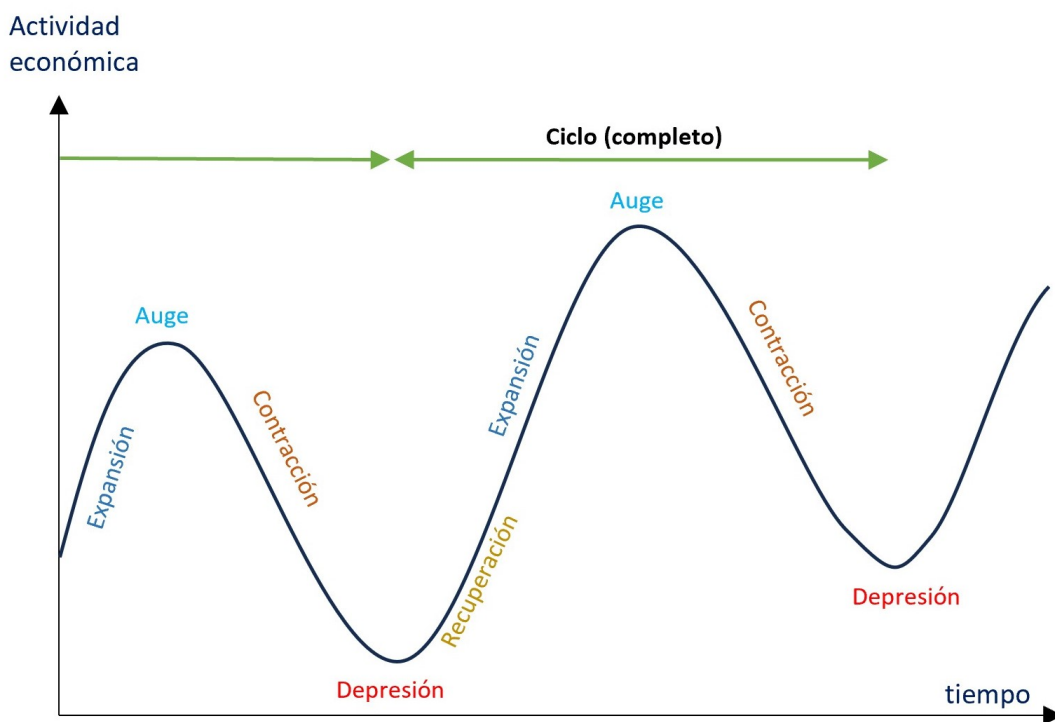


Figura 1.1: Ciclos de *boom and bust*. La actividad económica se la podría medir por ejemplo con el PIB real.

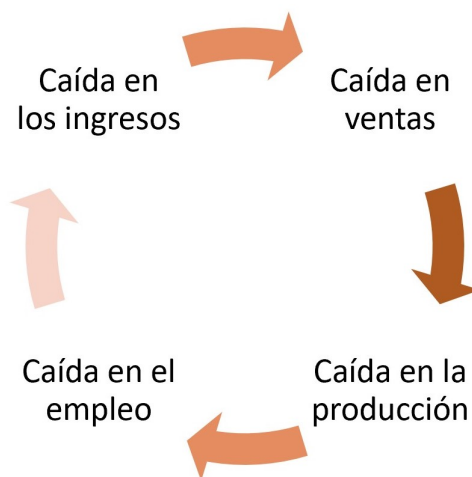


Figura 1.2: Círculo Vicioso.

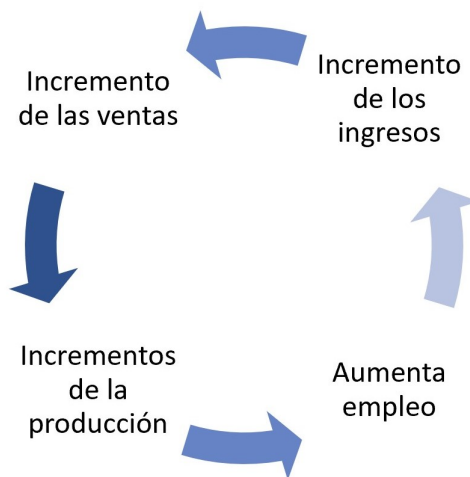


Figura 1.3: Círculo Virtuoso.

crisis económica [5]. Por ejemplo, un desastre natural, una guerra, la disminución de la inversión, políticas económicas, etc [5]. Pero, las crisis financieras han resultado ser, a lo largo de la historia, las detonantes de las más devastadoras crisis económicas tales como la gran depresión de los años 30, la crisis crediticia de 1972 y la crisis financiera del 2008 [4, 5]. Esto ha motivado a que se generen métodos que permitan predecir cuándo se va a producir una crisis financiera. En las últimas décadas no se ha encontrado ningún método o resultado convincente por tanto existe una gran línea de pensamiento que sostiene que las crisis son prácticamente impredecibles [6, 7].

A pesar de que no existe todavía una manera detallada y concluyente de explicar por qué se producen las crisis financieras, existen varias teorías que tratan de explicar desde diferentes puntos de vista por qué suceden estas crisis. Según la literatura de macroeconomía existen tres tipos de teorías que tratan de modelar las crisis financieras: teorías que hablan de crisis y pánico bancario, teorías que consideran fricciones crediticias y congelamientos de mercado, y teorías sobre crisis monetarias [8, 9, 10, 11, 12, 13]. La teoría sobre crisis y pánico bancario considera que los bancos, al financiar activos a largo plazo mediante depósitos a corto plazo, puede provocar problemas de liquidez [8]. Esto vuelve al sector financiero vulnerable, ya que si existe una corrida bancaria, esto podría provocar que cada vez más depositantes quieran retirar su dinero del banco aumentando así la probabilidad de que éstos quiebren [8, 13].

En cambio, la teoría que considera fricciones crediticias y congelamientos de mercado se enfoca en que existen dos fricciones clave: el riesgo moral y la selección adversa [10, 14]. Estas dos consideran que al existir asimetría de información en el mercado financiero, tanto para los prestamistas como para los prestatarios, esto puede conducir a crisis financieras [10]. Por último, la teoría sobre crisis monetarias considera que los gobiernos y los bancos se encuentran entrelazados, por lo tanto cambios en alguna política por parte del gobierno (por ejemplo, en el tipo de cambio) pueden conducir a crisis financieras [9, 11]. Al ser estas teorías “clásicas” todavía incapaces de explicar en su totalidad las crisis financieras, en este trabajo se busca construir un modelo desde otra perspectiva basado en los sistemas que se autoorganizan críticamente.

Los sistemas que se autoorganizan críticamente (self organized criticality, SOC, por sus siglas inglés) son sistemas que evolucionan naturalmente hacia un estado determinado que es inestable y que se llama “estado crítico”. Al ser inestable, una vez se llega a él, el sistema sale disparado rápidamente hacia otro estado, proceso que se llama “avalancha” [15]. Un ejemplo muy común de este tipo de sistemas es la famosa pila de arena [16]. Cuando un niño juega en la playa y deja caer granos de arena sobre un mismo punto construyendo pirámides (“pilas”) de arena, ocurre que al ir añadiendo estos granos se llega a un punto donde la pila alcanza una pendiente máxima (estado crítico) y en ese instante se desmorona. Es decir, empieza la arena a deslizarse hacia los costados como una especie de “avalancha”. En este sistema se puede notar que la evolución natural es ir hacia la pendiente máxima, de manera que cuando se alcanza este estado se suelen dar las avalanchas. En general, las avalanchas suelen ser de diferentes “tamaños” y pueden ocurrir cada cierto tiempo (tiempo intereventos) [17]. Si al analizar una serie temporal se observa que se producen avalanchas cada cierto tiempo, esto es un signo de que el sistema que estamos tratando puede ser un sistema SOC.

Las crisis financieras se pueden visualizar a través de los ciclos de boom and bust, donde la parte del boom se asocia a la dinámica natural, acercándose al estado crítico, y el bust a la avalancha [2, 3]. La repetición de las crisis financieras en el tiempo, al igual que se repiten las avalanchas en un sistema SOC, es lo que nos da pie a pensar que un modelo

tipo SOC puede ser un buen modelo para estudiar la macroeconomía responsable de las crisis financieras. Bajo esta perspectiva, el papel que juegan los granos de arena en el modelo de la pila de arena lo jugará el dinero introducido en la economía a través del banco central en el modelo que pretendemos construir.

En nuestro modelo consideraremos 4 tipos de “agentes” que serán responsables, a través de sus acciones, de la dinámica de la economía: el banco central, la banca “tradicional”, las empresas y los trabajadores. El banco central es el encargado de ingresar dinero en la economía a través de créditos a la banca. La banca es la encargada de dar préstamos a empresas y trabajadores, y recibir sus ahorros. Las empresas proveen de productos y servicios al resto de la sociedad y tienen gastos (sueldos de trabajadores y gastos de funcionamiento) e ingresos (ventas). Y los trabajadores reciben un sueldo que destinan al ahorro y para cubrir sus gastos.

A partir de estas proposiciones básicas trataremos de construir un primer modelo dinámico que permita generar una evolución macroeconómica capaz de producir ciclos de *boom and bust* similares a los que se observa en la realidad.

1.1. Objetivo general

Construir un primer modelo que logre captar los aspectos más importantes de los ciclos de *boom and bust* considerando a la economía como un sistema que se autoorganiza críticamente.

1.2. Objetivos específicos

1. Construir un submodelo que describa la dinámica del banco central
2. Construir un submodelo que describa la dinámica la banca
3. Construir un submodelo que describa la dinámica de las empresas
4. Construir un modelo que describa la dinámica de los trabajadores

5. Ensamblar los cuatro submodelos anteriores para construir el modelo final que buscamos, que debe ser un modelo cerrado y matemáticamente consistente

1.3. Alcance

El objetivo real es construir un primer modelo que esté consistentemente estructurado y que capte detalles esenciales de la dinámica de una economía. No obstante, el modelo representará una economía ficticia y los ciclos de *boom and bust* que pueda producir no tendrán por qué tener características estadísticamente similares a las de los ciclos que se observan en la economía real.

Capítulo 2

Metodología

Durante el siguiente capítulo se detalla cómo está compuesto cada uno de los submodelos para cada agente. Se debe recalcar que este trabajo está basado en una economía hipotética, pero no por eso irreal, ya que trata de incluir lo más “importante” de una economía real y cerrada ¹. Para cada uno de los submodelos se empieza describiendo su acción o rol dentro de la economía para luego expresarlo en forma de una o varias ecuaciones. Luego se explica cómo las ecuaciones de todos los submodelos, junto con algunas ecuaciones adicionales necesarias para garantizar una evolución coherente de una economía, se relacionan entre sí para acabar construyendo el modelo final.

2.1. Empresas

En nuestro modelo las empresas tienen el rol de ser los proveedores de recursos que pueden servir ya sea como insumo para fabricar otro producto o terminar siendo un bien que puede comprar una persona. Además, al necesitar trabajadores e insumos para poder operar, las empresas también necesitan pagar los sueldos de los trabajadores, sus gastos operacionales y también las cuotas por préstamos otorgados por la banca. A esto último lo llamaremos “inversiones” debido a que usualmente las

¹Por ejemplo, shocks externos como desastres naturales o el shock generado por revolución tecnológica son factores que no considera nuestro modelo.

empresas piden préstamos con el objetivo de aumentar su producción a través de la adquisición de más o mejores equipos o mediante la contratación de más trabajadores.

Si en un mes una empresa tiene más ingresos ($Ingrosos_e$) que gastos ($Gastos_e$) tendría un ahorro (a_e), caso contrario tendría que compensar la diferencia con sus ahorros. Por lo tanto, el ahorro de una empresa, en un mes, vendría dado por la siguiente expresión:

$$a_e(i) = Ingrosos_e(i) - Gastos_e(i), \quad (2.1)$$

donde el índice i hace referencia al mes. A su vez, los ingresos de la empresa corresponden al total de las ventas (v), es decir:

$$Ingrosos_e(i) = v(i) \quad (2.2)$$

En principio los gastos de la empresa serían solamente los sueldos (s) y los gastos operacionales (g_o):

$$Gastos_e(i) = s(i) + g_o(i) \quad (2.3)$$

Pero si la empresa hace una inversión (inv) en el mes i , consideramos que las cuotas (\hat{inv}_i) empiezan a ser pagadas desde el mes $i + 1$. Por ejemplo, si en el mes i la empresa realiza una inversión con un plazo de 11 meses (duración del préstamo), la evolución de los gastos sería la siguiente:

$$\begin{aligned} Gastos_e(i) &= s(i) + g_o(i) \\ Gastos_e(i + 1) &= s(i + 1) + g_o(i + 1) + \hat{inv}_i(i + 1) \\ Gastos_e(i + 2) &= s(i + 2) + g_o(i + 2) + \hat{inv}_i(i + 2) \\ &\vdots \\ Gastos_e(i + 10) &= s(i + 10) + g_o(i + 10) + \hat{inv}_i(i + 10) \\ Gastos_e(i + 11) &= s(i + 11) + g_o(i + 11) + \hat{inv}_i(i + 11) \\ Gastos_e(i + 12) &= s(i + 12) + g_o(i + 12) \end{aligned}$$

Aquí se puede notar que en el mes $i + 12$ ya se ha terminado de pagar

la inversión. El subíndice i que aparece en \hat{inv}_i es para enfatizar que la inversión fue realizada en el mes i . Considerando que puede existir o no una inversión en cada mes, sin perder generalidad, los gastos de la empresa se podrían expresar como:

$$Gastos_e(i) = s(i) + g_o(i) + \sum_{j=1}^{i-1} \hat{inv}_j(i) \quad (2.4)$$

En el sumatorio $\sum_{j=1}^{i-1} \hat{inv}_j(i)$ el j empieza desde 1 ya que el primer mes siempre es $i = 1$. Si en el mes i , la inversión realizada en un mes k , siendo $1 \leq k < i$, se ha terminado de pagar en el mes q , siendo $k < q < i$, entonces $\hat{inv}_k(i) = 0, \forall i > q$.

Estas inversiones a su vez se pueden dividir en dos partes, la cuota correspondiente al capital (inv_c) y la cuota correspondiente al interés (ϵ_{inv}), es decir:

$$\hat{inv}_j(i) = inv_{c_j}(i) + \epsilon_{inv_j}(i) \quad (2.5)$$

A partir de las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.4, se tendría que el ahorro mensual de una empresa viene dado por:

$$a_e(i) = v(i) - s(i) - g_o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{inv}_j(i) \quad (2.6)$$

Para obtener su valor agregado, es decir, el ahorro total de las empresas en la economía (A_e) se tendrían que sumar los ahorros de cada una de las empresas. Si se etiqueta a cada empresa con un índice p que inicia en 1 y va hasta N_e , que corresponde al número total de empresas en la economía, el ahorro total sería:

$$A_e(i) = \sum_{p=1}^{N_e} a_e^p(i), \quad (2.7)$$

Reemplazando a_e^p , a partir de 2.6, en la ecuación 2.7 se tendría que:

$$A_e(i) = \sum_{p=1}^{N_e} \left(v^p(i) - s^p(i) - g_o^p(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{inv}_j^p(i) \right) \quad (2.8)$$

$$A_e(i) = \sum_{p=1}^{N_e} v^p(i) - \sum_{p=1}^{N_e} s^p(i) - \sum_{p=1}^{N_e} g_o^p(i) - \sum_{p=1}^{N_e} \sum_{j=1}^{i-1} \hat{inv}_j^p(i) \quad (2.9)$$

Definiendo las ventas totales como $V(i) = \sum_{p=1}^{N_e} v^p(i)$, los sueldos totales como $S(i) = \sum_{p=1}^{N_e} s^p(i)$, los gastos operacionales totales como $G_o(i) = \sum_{p=1}^{N_e} g_o^p(i)$ y las inversiones totales como $\hat{Inv}_j(i) = \sum_{p=1}^{N_e} \hat{inv}_j^p(i)$ se podría reexpresar la ecuación 2.9 como:

$$A_e(i) = V(i) - S(i) - G_o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{Inv}_j(i) \quad (2.10)$$

Esta sería la **ecuación que representa al sector empresarial**.

Considerando esta última expresión, si el ahorro o dinero que tienen guardado en el banco las empresas es \bar{A}_e , su evolución se podría expresar simplemente como:

$$\bar{A}_e(i) = \bar{A}_e(i-1) + A_e(i) \quad (2.11)$$

Por otro lado, tomando en cuenta que la inversión realizada por una empresa en el mes i es $inv(i)$. La suma de cada una de las inversiones realizadas por las empresas en este mismo mes, correspondería a las inversiones totales, $Inv(i)$, es decir:

$$Inv(i) = \sum_{p=1}^{N_e} inv^p(i) \quad (2.12)$$

2.2. Trabajadores

Dentro de nuestra economía los trabajadores son prácticamente la mano de obra de la misma. Al ser contratados por los empresarios son retribuidos con un ingreso que les sirve para poder comprar todo tipo de bienes y servicios, los cuales pueden pagar ya sea utilizando sus ingresos o a través de un crédito otorgado por la banca.

Si en un mes los ingresos de un trabajador (ing) superan a sus consumos ($cons$), tendría un ahorro (a_T), caso contrario tendría que empezar a destinar parte de su dinero ahorrado para poder comprar sus bienes. Por tanto, el ahorro de un trabajador, en un mes, vendría dado por:

$$a_T(i) = ing(i) - cons(i), \quad (2.13)$$

Considerando que los consumos ($cons$) pueden ser pagados por medio del dinero ingresado/ahorrado o por medio de crédito, el consumo se puede dividir en consumo directo (c_d), que sería el consumo que se paga por medio del ingreso, y consumo crediticio (c_r), que como su nombre lo indica, es el consumo que se financia por medio de un crédito. Cuando el trabajador pide un crédito (c) en el mes i consideraremos que las cuotas (c_{r_i} ²) empiezan a ser pagadas a partir del mes $i + 1$ (al igual que las inversiones). Por lo tanto, tomando en cuenta que el pago de los créditos se comporta de la misma manera que el pago de las inversiones, se tendría que el consumo de un trabajador viene dado por:

$$cons(i) = c_d(i) + \sum_{j=1}^{i-1} c_{r_j}(i), \quad (2.14)$$

donde una vez que el crédito pedido en el mes k , c_{r_k} , se ha terminado de pagar en el mes q (siendo, $k < q$), se tiene que $c_{r_k}(i) = 0, \forall i > q$.

El consumo crediticio a su vez se puede dividir en dos partes, la cuota correspondiente al capital (cr_c) y la cuota correspondiente al interés (ϵ_{cr}), es decir:

$$c_{r_j}(i) = cr_{c_j}(i) + \epsilon_{cr_j}(i) \quad (2.15)$$

Utilizando las ecuaciones 2.13 y 2.14, se tendría que el ahorro de un trabajador viene dado por:

$$a_T(i) = ing(i) - c_d(i) - \sum_{j=1}^{i-1} c_{r_j}(i) \quad (2.16)$$

Si se etiqueta a todos los trabajadores de la economía con un índice o que va desde 1 hasta N_T , que corresponde al número total de trabajado-

²El subíndice i es para enfatizar que el crédito fue pedido en el mes i .

res, y se suma el ahorro de cada uno de estos, se tendría el ahorro total de los trabajadores, es decir:

$$A_T(i) = \sum_{o=1}^{N_T} a_T^o(i), \quad (2.17)$$

Reemplazando a_T^o , a partir de 2.16, en la ecuación 2.17 se tendría que:

$$A_T(i) = \sum_{o=1}^{N_T} \left(\text{ing}^o(i) - c_d^o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} c_{r_j}^o(i) \right) \quad (2.18)$$

$$A_T(i) = \sum_{o=1}^{N_T} \text{ing}^o(i) - \sum_{o=1}^{N_T} c_d^o(i) - \sum_{o=1}^{N_T} \sum_{j=1}^{i-1} c_{r_j}^o(i) \quad (2.19)$$

Definiendo los ingresos totales como $\text{Ing}(i) = \sum_{o=1}^{N_T} \text{ing}^o(i)$, los consumos directos totales como $C_d(i) = \sum_{o=1}^{N_T} c_d^o(i)$ y los consumos crediticios totales como $C_{r_j}(i) = \sum_{o=1}^{N_T} c_{r_j}^o(i)$ se podría reexpresar la ecuación 2.19 como:

$$A_T(i) = \text{Ing}(i) - C_d(i) - \sum_{j=1}^{i-1} C_{r_j}(i) \quad (2.20)$$

Esta sería la **ecuación que representa a los trabajadores**.

Considerando esta última expresión, si el ahorro o dinero que tienen guardado en el banco los trabajadores es \bar{A}_T , su evolución se podría expresar simplemente como:

$$\bar{A}_T(i) = \bar{A}_T(i-1) + A_T(i) \quad (2.21)$$

Por otro lado, tomando en cuenta que el crédito pedido por un trabajador en el mes i es $c(i)$. La suma de cada uno de los créditos pedidos por los trabajadores en este mismo mes, correspondería a los créditos totales, $C(i)$, es decir:

$$C(i) = \sum_{o=1}^{N_T} c^o(i) \quad (2.22)$$

2.3. Banca

Los bancos en nuestro modelo tienen dos objetivos fundamentales: guardar el dinero de las empresas y trabajadores, y otorgar préstamos. En general, los bancos también suelen dar una compensación por el dinero depositado, sin embargo, al compararlo con el dinero que reciben por otorgar préstamos es prácticamente despreciable, razón por la cual no lo consideramos en nuestro modelo. Por otro lado, aunque lo usual es que la banca esté conformada por varios bancos, en nuestro modelo consideraremos que todo el sistema bancario funciona como si la economía tuviese un sólo banco. Esto nos permite tratar a la banca como un solo agente (un solo banco) y no como la acción de varios bancos.

En muchos países, las personas suelen sacar dinero del banco o pedir préstamos para realizar una compra o un pago, y también para quedarse con un restante (es decir, se quedan con una cantidad de dinero, el cual no lo devuelven al banco). En nuestro modelo, no consideramos que esto sucede, es decir, todo el dinero siempre regresa al banco. Prácticamente todas las transacciones se realizarían por transferencias o tarjeta de crédito o débito, algo que no está lejos de la realidad en algunos países del primer mundo.

A partir de estas consideraciones, las transacciones no cambiarían el dinero que existe en el banco (o en la banca), solo existiría movimientos en las cuentas. Por ejemplo, si el banco IB tiene \$10000 en total, y una empresa A que tiene su cuenta en el banco, con un saldo de \$3000, paga a un trabajador b , que tiene un saldo de \$100 en su cuenta, un sueldo de \$25, el dinero total del banco se mantiene intacto, ya que, solo hubo un movimiento de dinero en las cuentas, tal y como se lo puede observar en el cuadro 2.1.

Siendo D_n el total de dinero “físico”³ que tiene el banco, un porcentaje de D_n estaría destinado a préstamos. Estos préstamos son los responsables de que el D_n vaya aumentando, ya que al otorgar la banca los préstamos, está inyectando a la economía una especie de dinero “ficticio”. Por ejemplo, si un banco tiene en total \$10000 y entrega como

³Este dinero hace referencia al dinero que, por ejemplo, un banco suele tener en sus bóvedas. Es decir, correspondería al dinero impreso.

Cuentas en el banco <i>IB</i> : Antes de la transacción				
	Saldo anterior [\$]	Depósito[\$]	Retiro [\$]	Saldo nuevo [\$]
Empresa <i>A</i>	3000	-	-	3000
Trabajador <i>a</i>	250	-	-	250
Empresa <i>B</i>	2500	-	-	2500
Trabajador <i>b</i>	100	-	-	100
Empresa <i>C</i>	4000	-	-	4000
Trabajador <i>c</i>	150	-	-	150
Total	10000	-	-	10000

Cuentas en el banco <i>IB</i> : Después de la transacción				
Empresa <i>A</i>	3000	-	25	2975
Trabajador <i>a</i>	250	-	-	250
Empresa <i>B</i>	2500	-	-	2500
Trabajador <i>b</i>	100	25	-	125
Empresa <i>C</i>	4000	-	-	4000
Trabajador <i>c</i>	150	-	-	150
Total	10000	-	-	10000

Cuadro 2.1: Transacción entre empresa *A* y trabajador *b*. Aquí se puede notar como el dinero total en el banco no cambia al efectuarse una transacción.

préstamos \$5000, estos \$5000 están siendo utilizados para pagar alguna transacción, pero como los \$5000 nunca salieron del banco y no se pueden debitar de alguna cuenta de algún trabajador o empresa, entonces prácticamente se lo creó para poder inyectarlo en la economía. Sin embargo, este dinero “ficticio” no solo ha aumentado en \$5000 el dinero que está circulando en la economía sino una fracción adicional que corresponde a la ganancia del banco. Si el interés está al 10% anual, y el préstamo de \$5000 tiene un plazo de 1 año, la ganancia sería de \$500. Esto quiere decir que el banco habrá inyectado \$5000 en la economía y a su vez la economía deberá haber creado \$500 al cabo de un año para pagar al banco.

En nuestro modelo el dinero que está circulando en la economía, al cual lo denotaremos como D_c , corresponde al dinero que tanto las empresas y trabajadores pueden utilizar (por ejemplo, dinero físico) para pagar cualquier tipo de transacción (compra de bienes, pago de sueldos, etc.). En este sentido, los préstamos (dinero ficticio) también se utilizan con el mismo fin, es por esto que también forman parte del dinero cir-

culando en la economía. Si consideramos que los préstamos (inversiones y créditos) son los que permiten que D_c aumente, el dinero que circula cada mes en la economía estaría dado por:

$$D_c(i) = D_c(i - 1) + Inv(i) + C(i) \quad (2.23)$$

Al considerar que este proceso está pasando, también se debería asegurar que el dinero “ficticio” que se ha creado (en el ejemplo anterior, los \$5500) se vuelva real (es decir, que sea respaldado por dinero físico). Por lo tanto, en nuestro modelo el banco central sería el encargado de otorgar este dinero a la banca para volver real a este dinero “ficticio”⁴. Este proceso asegura que exista en el banco el dinero que está circulando en la economía. Siendo D_e el dinero que emite el banco central y se lo entrega a la banca con un desfase de un periodo⁵, la evolución del D_n vendría dado por:

$$D_n(i) = D_n(i - 1) + D_e(i - 1) \quad (2.24)$$

Esta sería la **ecuación que representa a la banca**.

2.4. Banco central

En nuestro modelo, y como se dijo anteriormente, el banco central es el encargado de proveer de dinero a la banca, para así volver real el dinero “ficticio”. Para esto, en nuestro modelo proponemos que el banco central emite dinero en el mes i dependiendo de las cuotas de los préstamos que se deben pagar en el mismo mes, es decir:

$$D_e(i) = \sum_{j=1}^{i-1} \left(\hat{Inv}_j(i) + C_{r_j}(i) \right) \quad (2.25)$$

Esta sería la **ecuación que representa al banco central**. De esta ma-

⁴Se debería considerar que el banco central también cobra un monto por la cantidad de dinero “prestado” a la banca. Sin embargo, este suele ser muy bajo a comparación de los montos que cobra la banca. Es por esto que, en nuestro modelo no se considera esta ganancia que recibiría el banco central.

⁵El desfase se lo asocia con el hecho de que si en el mes i el banco central contabiliza cuántos préstamos se hicieron en este mes, consideramos que el siguiente mes $i + 1$ imprime una cantidad de dinero $D_e(i + 1)$ para luego en el mes $i + 2$ otorgarlo a la banca.

nera el banco central podrá reponer el dinero “ficticio” de manera progresiva a medida que se vayan pagando los préstamos.

Además, el banco central también será el responsable de regular la tasa de interés (I) en la economía. Esta tasa de interés es un porcentaje que se traduce en un monto de dinero que las empresas y los trabajadores pagan a la banca, por pedir un préstamo. Considerando esta tasa de interés, el dinero (o cuota) mensual que debe pagar una empresa al banco solo por concepto de interés, al realizar una inversión en el mes j (ver ecuación 2.5), se puede expresar de la siguiente manera:

$$\epsilon_{inv_j}(i) = I(i) \left(\frac{inv(j)}{t_{e_j}} \right), \quad (2.26)$$

donde $I(i)$ es la tasa de interés en el mes i , $inv(j)$ es el préstamo que pidió la empresa en el mes j y t_{e_j} ⁶ es el tiempo que se debe pagar el préstamo (inversión).

Ahora, si consideramos a todas las empresas, la cuota total mensual por concepto de interés sería similar a la ecuación 2.26 y se podría expresar como:

$$\epsilon_{inv_j}(i) = I(i) \left(\frac{Inv(j)}{t_j^e} \right), \quad (2.27)$$

donde $Inv(j)$ son las inversiones totales en el mes j y t_j^e es el tiempo que se debe pagar el $Inv(j)$. El tiempo t_j^e , es un tiempo que se lo toma de manera agregada, y por tanto no guarda relación alguna con t_{e_j} .

Del mismo modo, las cuotas mensuales por concepto de interés para un trabajador que pidió un crédito en el mes j (ver ecuación 2.15) se podría expresar como:

$$\epsilon_{cr_j}(i) = I(i) \left(\frac{c(j)}{t_{T_j}} \right), \quad (2.28)$$

donde $I(i)$ es la tasa de interés en el mes i , $c(j)$ es el crédito que pidió el trabajador en el mes j y t_{T_j} ⁷ es el tiempo que se debe pagar el crédito.

Entonces, si consideramos a todos los trabajadores, la cuota total mensual por concepto de interés viene dada por una expresión muy si-

⁶Tiene el subíndice j para hacer referencia al préstamo realizado en el mes j .

⁷Tiene el subíndice j para hacer referencia al crédito pedido en el mes j .

milar a la ecuación 2.28, de la siguiente manera:

$$\varepsilon_{cr_j}(i) = I(i) \left(\frac{C(j)}{t_j^T} \right), \quad (2.29)$$

donde $C(j)$ son los créditos totales en el mes j y t_j^T es el tiempo que se debe pagar el $C(j)$. El tiempo t_j^T , al igual que en el caso de las inversiones, es un tiempo que se lo toma de manera agregada, y por tanto no guarda relación alguna con t_{T_j} .

2.5. Evolución del ahorro total en la economía

Una vez expuestos los componentes de cada uno de los submodelos, en esta sección se detalla cómo se relacionan algunas ecuaciones entre sí para dar lugar a una que rige la dinámica del ahorro total en nuestra economía.

En la economía el ahorro es símbolo de que se ha generado una ganancia. Por lo tanto, en nuestro modelo, conociendo cómo evoluciona el ahorro total en la economía, A_{TOT} , se podría saber si la economía está en conjunto (empresas y trabajadores) ganando o perdiendo. El ahorro total mensual sería la suma del ahorro mensual de las empresas, $A_e(i)$, y de los trabajadores, $A_T(i)$, es decir:

$$A_{TOT}(i) = A_e(i) + A_T(i) \quad (2.30)$$

Reemplazando las ecuaciones 2.10 y 2.20 en la ecuación 2.30, se tiene que:

$$A_{TOT}(i) = \left(V(i) - S(i) - G_o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{I}nv_j(i) \right) + \left(Ing(i) - C_d(i) - \sum_{j=1}^{i-1} C_{r_j}(i) \right) \quad (2.31)$$

Los sueldos, $S(i)$, son los ingresos que reciben los trabajadores, $Ing(i)$. Entonces, considerando que $S(i) = Ing(i)$, se tiene que:

$$A_{TOT}(i) = V(i) - G_o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{I}nv_j(i) - C_d(i) - \sum_{j=1}^{i-1} C_{r_j}(i) \quad (2.32)$$

Tomando en cuenta que las ventas de las empresas corresponden a todas las compras que han hecho tanto los trabajadores como los mismos empresarios (por motivos de gastos operacionales). Las ventas totales, V , también se pueden expresar de la siguiente manera:

$$V(i) = C_d(i) + C(i) + Inv(i) + G_o(i) \quad (2.33)$$

Entonces, considerando la ecuación 2.33, se tendría que:

$$A_{TOT}(i) = [C_d(i) + C(i) + Inv(i) + G_o(i)] - G_o(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \hat{Inv}_j(i) - C_d(i) - \sum_{j=1}^{i-1} C_{r_j}(i) \quad (2.34)$$

Simplificando, se llega a que el ahorro total, A_{TOT} , viene descrito por:

$$A_{TOT}(i) = C(i) + Inv(i) - \sum_{j=1}^{i-1} \left(\hat{Inv}_j(i) + C_{r_j}(i) \right) \quad (2.35)$$

Si esta ecuación es positiva, implica que en conjunto (empresas y trabajadores) están teniendo ganancias. Si es negativa, en cambio, en conjunto están teniendo pérdidas.

Para que $A_{TOT} > 0$, se debe cumplir que:

$$C(i) + Inv(i) > \sum_{j=1}^{i-1} \left(\hat{Inv}_j(i) + C_{r_j}(i) \right) \quad (2.36)$$

Si esta condición no se cumple y se mantiene negativa por un periodo prolongado, es señal de que la economía está pasando por una mala situación económica.

En general, todo lo que hasta ahora se ha estudiado y explicado, no ha considerado algo que está presente en la mayoría de economías, que es la *morosidad*. Si un deudor es más probable que no pague la deuda cuando está teniendo problemas económicos, de manera agregada, se esperaría que los deudores sean menos probables de pagar sus préstamos dependiendo de la situación económica, Es decir, si en la economía están existiendo problemas de desempleo, disminución de ventas, o reducción de salarios, se esperaría que sea más probable que la mayoría de

deudores no puedan pagar sus préstamos. Si se considera P_g como el indicador que mide la probabilidad de pagar los préstamos, las ecuaciones que cambiarían son las ecuaciones 2.10, 2.20 y 2.35, las cuales ahora se expresarían de la siguiente manera:

$$A_e(i) = V(i) - S(i) - G_o(i) - Pg(i) \sum_{j=1}^{i-1} \hat{Inv}_j(i) \quad (2.37)$$

$$A_T(i) = Ing(i) - C_d(i) - Pg(i) \sum_{j=1}^{i-1} C_{r_j}(i) \quad (2.38)$$

$$A_{TOT}(i) = C(i) + Inv(i) - Pg(i) \sum_{j=1}^{i-1} \left(\hat{Inv}_j(i) + C_{r_j}(i) \right) \quad (2.39)$$

Donde $Pg(i)$ toma valores entre 0 y 1. Si $Pg(i) = 1$, todos los deudores están pagando las cuotas del mes i , mientras que si $Pg(i) = 0$, ningún deudor está pagando las cuotas correspondientes al mes i .

La ecuación 2.39 representa la **ecuación del ahorro total en la economía**, donde para que se cumpla que $A_{TOT} > 0$, se debe cumplir que:

$$C(i) + Inv(i) > Pg(i) \sum_{j=1}^{i-1} \left(\hat{Inv}_j(i) + C_{r_j}(i) \right) \quad (2.40)$$

En la siguiente sección, se explican las pautas de cómo va a evolucionar la economía.

2.6. Dinámica de la economía

Para nuestro modelo, las variables que determinarán la dinámica de la economía son:

V : ventas totales

S : sueldos totales

C_d : consumos directos totales

C : créditos totales

Inv : inversiones totales

I : tasa de interés

Pg : indicador de pago de cuotas de interés

A_e : ahorro total de las empresas

A_T : ahorro total de los trabajadores

D_e : dinero que emite el banco central

D_c : dinero circulando en la economía

D_n : dinero total que tiene la banca

P : precios

$Prod$: producción de las empresas⁸

En nuestro modelo, no se considera que las ventas totales, V , guardan una relación directa con la producción, $Prod$, debido a que en las economías reales existen una gran cantidad de empresas que no venden lo que se produce en el mismo mes, sino que lo almacenan como stock. Es por esto que en nuestro modelo las diferenciamos completamente.

Las ventas totales (V), el ahorro total de las empresas (A_e), el ahorro total de los trabajadores (A_T), el dinero que emite el banco central (D_e), el dinero circulando en la economía (D_c) y el dinero total que tiene la banca (D_n) se calculan utilizando las ecuaciones [2.33](#), [2.37](#), [2.38](#), [2.25](#), [2.23](#), [2.24](#), respectivamente.

Para las demás variables, basándonos en datos históricos de cómo han evolucionado estas variables [[1](#), [3](#)], proponemos, de forma un tanto arbitraria, las siguientes expresiones para cada una de ellas:

Créditos, C

Para definir cómo C evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Cuando los trabajadores tienen más ingresos, pueden tener un incentivo de adquirir créditos y comprar más bienes. En cambio, si

⁸Se podría pensar que la producción en un mes i depende directamente de los gastos operacionales, de los sueldos y también de las inversiones del mismo mes. Sin embargo, la producción de un mes puede depender de gastos e inversiones realizadas en meses anteriores.

los ingresos disminuyen es poco probable que un trabajador se endeude para comprar más bienes. En este caso el trabajador trata de endeudarse lo menos posible.

- Cuando los precios de los productos aumentan, el trabajador puede estar tentado a endeudarse si no le alcanza su salario. En cambio, si los precios disminuyen, ocurriría lo contrario, y el trabajador podría evitar endeudarse ya que el sueldo puede ser suficiente para pagar sus consumos.
- Si los trabajadores tienen más dinero en sus cuentas de ahorro, pueden tener un incentivo en comprar bienes o productos más costosos. Por lo tanto, el crecimiento de los ahorros podría aumentar proporcionalmente el crédito. En cambio, si los trabajadores están teniendo cada vez menos dinero en el banco, es más probable que no les sea posible acceder a un préstamo. Entonces, el decrecimiento de los ahorros podría disminuir proporcionalmente el crédito.

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$C(i) = C(i-1) \left[1 + a_1 \left(\frac{S(i-a'_1) - S(i-a''_1)}{S(i-a''_1)} \right) + a_2 \left(\frac{P(i-a'_2) - P(i-a''_2)}{P(i-a''_2)} \right) + a_3 \left(\frac{\bar{A}_T(i-a'_3) - \bar{A}_T(i-a''_3)}{\bar{A}_T(i-a''_3)} \right) \right] \quad (2.41)$$

Donde, los coeficientes a'_k y a''_k son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $a'_k > a''_k$, para todo $k = 1, 2, 3$. Mientras que los coeficientes a_k son constantes de proporcionalidad.

Tomando en cuenta que el crédito no puede ser mayor al dinero que el banco dispone se debe cumplir que:

$$0 \leq C(i) \leq D_n(i) \quad (2.42)$$

Gastos operacionales, G_o

Para definir cómo G_o evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Los gastos operacionales dependen en su mayoría de cuanto se haya producido. Por lo tanto, se propone que son directamente proporcionales a la producción, $Prod$.
- Si los precios de los insumos que necesitan para producir aumentan (disminuyen), entonces los gastos operacionales también aumentan (disminuyen).

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$G_o(i) = \alpha Prod(i) \left[1 + b_1 \left(\frac{P(i - b'_1) - P(i - b''_1)}{P(i - b''_1)} \right) \right] \quad (2.43)$$

Donde, los coeficientes b'_1 y b''_1 son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $b'_1 > b''_1$. Mientras que los coeficientes α y b_1 son constantes de proporcionalidad, donde α tiene como unidad [\$/producto].

Producción, $Prod$

Para definir cómo $Prod$ evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Si las empresas realizan inversiones es probable que sus inversiones den resultados en meses posteriores, y mientras más inversiones hagan es mucho más probable de que esto permita que las empresas logren adquirir técnicas o nueva tecnología que les permita producir más. Por lo tanto, el crecimiento de las inversiones, Inv , aumenta proporcionalmente la producción. Mientras que, si ocurre lo contrario, es decir, que las inversiones vayan disminuyendo, es muy probable que la producción también lo haga a medio plazo.
- Los sueldos son una señal de cómo se están desempeñando las empresas. Si las empresas contratan más personal, la producción tiende a crecer, en cambio, si las empresas empiezan a despedir o bajar

los salarios de los trabajadores, la producción tiende a disminuir. Esto se podría observar tomando a los salarios S como la variable que incluye este efecto.

- Los insumos y todo lo necesario para elaborar un producto son determinantes en la cadena de producción. Si se quiere producir más, se deberá incurrir en más gastos operacionales. Pero, si cada vez se van disminuyendo los gastos operacionales, en cambio la producción actual y futura tenderá a caer. Esto implica que aumentos (decrementos) de los gastos operacionales provocarán incrementos (disminuciones) en la producción.

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 Prod(i) = Prod(i-1) & \left[1 + d_1 \left(\frac{Inv(i-d'_1) - Inv(i-d''_1)}{Inv(i-d'_1)} \right) \right. \\
 & + d_2 \left(\frac{S(i-d'_2) - S(i-d''_2)}{S(i-d'_2)} \right) \\
 & \left. + d_3 \left(\frac{G_o(i-d'_3) - G_o(i-d''_3)}{G_o(i-d'_3)} \right) \right] \quad (2.44)
 \end{aligned}$$

Donde, los coeficientes d'_k y d''_k son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $d'_k > d''_k$, para todo $k = 1, 2, 3$. Mientras que los coeficientes d_k son constantes de proporcionalidad.

Tomando en cuenta que en la economía no se puede producir por encima de un máximo de producción, $Prod_{max}$, debido a que no existe disposición ilimitada de insumos y energía. La producción se encuentra siempre dentro del siguiente intervalo:

$$0 \leq Prod(i) \leq Prod_{max} \quad (2.45)$$

Este límite superior implica que la cantidad de recursos y energía que disponemos, nos permiten producir hasta un máximo de $Prod_{max}$. En general, este límite podría ir variando dependiendo de si un insumo, se va agotando, o si se van encontrando más o nuevos insumos, o dependiendo de la disponibilidad de energía. En nuestro modelo, consideramos que el ritmo de cambio es tan lento que prácticamente permanece constante la producción máxima durante nuestro periodo de estudio.

Interés, I

Para definir cómo I evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Cuando la tasa de interés está cercana a “cero”, se estimula la demanda ya que es muy atractivo endeudarse. Esto produce que cada vez se vaya inyectando más dinero a la economía y por ende que el banco central tenga que imprimir más dinero. El problema es que inyectar cada vez más dinero, suele conducir con el tiempo a un incremento significativo y persistente de los precios. Por lo tanto, el gobierno central suele incrementar las tasas de interés para volver menos accesible los préstamos y así disminuir el proceso de introducción de dinero, logrando al final que los precios vuelvan a disminuir. Entonces, una vez que los precios bajan, el banco central puede regresar todo a la normalidad y bajar nuevamente las tasas de interés.
- Si la producción empieza a disminuir, el banco central para contrarrestarlo puede incentivar a la inversión a través de tasas de interés más bajas. En cambio, si las tasas de interés se han mantenido por un periodo alrededor de cero, proponemos que el aumento de la producción aumente las tasas de interés. Además, estos incrementos en la producción se podrían relacionar con incrementos en utilidades. Por lo tanto, la banca podría estar tentada a intervenir para que las tasas de interés suban y así tener más beneficios ellos también.

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$I(i) = I(i-1) \left[1 + f_1 \left(\frac{P(i - f'_1) - P(i - f''_1)}{P(i - f''_1)} \right) \right] + f_2 \left(\frac{Prod(i - f'_2) - Prod(i - f''_2)}{Prod(i - f''_2)} \right) \quad (2.46)$$

Donde, los coeficientes f'_k y f''_k son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $f'_k > f''_k$, para todo $k = 1, 2$. Mientras que los coeficientes f_k son constantes de proporcionalidad.

Inversiones, Inv

Para definir cómo Inv evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Si los trabajadores empiezan a consumir más, las empresas también tienden a producir más, por lo tanto, suelen realizar inversiones para lograr este incremento. Por otro lado, si el consumo empieza a disminuir, las empresas, al ver reducidas sus ventas, pueden optar por no invertir. Por tanto, las inversiones tienden a disminuir.
- Si las empresas tienen más dinero en sus cuentas de ahorro, pueden tener un gran incentivo en invertir. Por lo tanto, el crecimiento de los ahorros que tienen las empresas podría aumentar proporcionalmente las inversiones. En cambio, si las empresas están teniendo cada vez menos dinero en el banco, es más probable que no se arriesguen a invertir. Entonces, el decrecimiento de los ahorros podría disminuir proporcionalmente el crédito.
- Si la tasa de interés empieza a aumentar, resulta más costoso para una empresa el realizar una inversión. Por lo tanto, las inversiones tienden a disminuir. En cambio, si las tasas de interés comienzan a bajar, existe un gran incentivo para que las empresas inviertan. Entonces, esto provoca que las inversiones aumenten. En el caso de que las tasas de interés se mantengan en “cero”, esto provoca un alto incentivo en la inversión.

Considerando que $C_T = C + C_d$ (gastos totales), estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$Inv(i) = Inv(i-1) \left[1 + g_1 \left(\frac{C_T(i - g'_1) - C_T(i - g''_1)}{C_T(i - g''_1)} \right) + g_2 \left(\frac{\bar{A}_e(i - g'_2) - \bar{A}_e(i - g''_2)}{\bar{A}_e(i - g''_2)} \right) - \beta(i) \right] \quad (2.47)$$

Donde, los coeficientes g'_k y g''_k son números enteros que determinan

un desfase y cumplen que $g'_k > g''_k$, para todo $k = 1, 2$. Mientras que los coeficientes g_k son constantes de proporcionalidad.

Por otro lado $\beta(i)$ es una función que capta el efecto de la tasa de interés, y se expresa de la siguiente manera:

$$\beta(i) = \begin{cases} g_3 \left(\frac{I(i-g'_3) - I(i-g''_3)}{I(i-g''_3)} \right) & , \text{ si } I(i-g''_3) > 0 \\ -g_3 & , \text{ si } I(i-g''_3) = 0 \end{cases} \quad (2.48)$$

Donde, los coeficientes g'_3 y g''_3 son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $g'_3 > g''_3$. Mientras que el coeficiente g_3 es una constante de proporcionalidad.

Tomando en cuenta que las inversiones no pueden exceder al total de dinero que el banco dispone, se debe cumplir que:

$$0 \leq Inv(i) \leq D_n(i) \quad (2.49)$$

Consumos directos, C_d

Para definir cómo C_d evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Si los precios empiezan a aumentar es más probable que los trabajadores empiecen a destinar mayor proporción de sus ingresos en la compra de bienes. Mientras que si los precios empiezan a bajar ocurriría lo contrario.
- Si los ingresos tienden a crecer, los trabajadores podrían comprar más cosas de las que antes no podían comprar. En cambio, si los sueldos empiezan a bajar es muy probable que también los consumos empiecen a disminuir.

A partir de estas proposiciones se plantea la siguiente expresión:

$$C_d(i) = C_d(i-1) \left[1 + h_1 \left(\frac{P(i-h'_1) - P(i-h''_1)}{P(i-h''_1)} \right) + h_2 \left(\frac{S(i-h'_2) - S(i-h''_2)}{S(i-h''_2)} \right) \right] \quad (2.50)$$

Donde, los coeficientes h'_k y h''_k son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $h'_k > h''_k$, para todo $k = 1, 2$. Mientras que los coeficientes h_k son constantes de proporcionalidad.

Considerando que los trabajadores como mínimo deben consumir lo necesario para su subsistencia, se plantea que el consumo directo va a estar oscilando entre:

$$\gamma S(i) \leq C_d(i) \leq S(i) \quad (2.51)$$

Donde γ es una constante de proporcionalidad que va entre 0 y 1.

Precios, P

Aunque lo común es que cada producto tenga un precio distinto, puede existir un valor promedio donde los precios de los productos converjan con mayor frecuencia. Por lo tanto, en este modelo se podría utilizar el promedio como precio para cada uno de los productos ya que es el de mayor frecuencia.

Considerando esto, los precios se fijarían de acuerdo a la cantidad de dinero que está circulando en la economía y al número de productos producidos. Si además consideramos que los precios no suelen subir tan rápido en el corto plazo, se propone que los precios evolucionan de la siguiente manera:

$$P(i) = \frac{D_c(i-1) - D_c(i-t)}{\sum_{j=1}^t Prod(i-j)} \quad (2.52)$$

Donde t determina cuantos meses se van a considerar para calcular los precios. Aquí, el numerador corresponde a la cantidad de dinero en circulación dentro de los meses $i-t$ y $i-1$, y el denominador la cantidad de producto producido durante estos meses. Cabe mencionar que debido a que los precios no suelen subir rápidamente en el corto plazo, se define el parámetro \hat{t} como el número de meses que el precio se mantiene sin variar. Esto quiere decir que el precio se lo calculará nuevamente cuando haya pasado un total de \hat{t} meses. En los meses donde no se actualiza el precio se toma el precio del mes anterior⁹.

⁹El precio inicial, $P(1)$, se mantendrá sin variar hasta el mes $\hat{t} - 1$. Luego, se irán actualizando los precios cada \hat{t} meses, tal y como se explicó en esta sección.

Sueldos, S

Para definir cómo S evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Al ser el sueldo parte de los costos necesarios para fabricar un producto, depende directamente del precio de cada producto. Por tanto, se puede plantear que los sueldos de los trabajadores son proporcionales a lo que equivaldría en el mercado la cantidad de producto producido.
- Si la producción va aumentando, es muy probable que al tener más utilidades las empresas tiendan a aumentar los sueldos de sus trabajadores. Sin embargo, esto no es de manera instantánea ya que los sueldos no suelen aumentar continuamente sino más bien se demoran en aumentar dependiendo de la estabilidad de las empresas. Por otro lado, si la producción empieza a caer, las empresas suelen despedir o disminuir los sueldos a sus trabajadores, por lo tanto, de manera agregada los sueldos tenderían a bajar.

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$S(i) = l_1 \left(\frac{\sum_{j=1}^{l_2} Prod(i-j)}{l_2} \right) \left(\frac{\sum_{j=1}^{l_2} P(i-j)}{l_2} \right) \quad (2.53)$$

En esta expresión se estaría considerando que los sueldos son básicamente un porcentaje del promedio de la producción. Donde l_1 es una constante de proporcionalidad que va entre 0 y 1, y l_2 determina cuantos meses se van a considerar para el promedio.

Indicador de pago de cuotas de interés, P_g

Para definir cómo P_g evoluciona, se parte de las siguientes proposiciones:

- Cuando los precios empiezan a aumentar, esto afecta directamente a los ingresos tanto de los trabajadores como de las empresas. Por

un lado, al ir subiendo los precios, los trabajadores van a tener que endeudarse cada vez más y más hasta llegar a un punto donde se les va a complicar pagar sus créditos. Mientras que, por el lado de las empresas, si los trabajadores empiezan a tener problemas de solvencia, esto se va a reflejar en una disminución en sus ventas, lo cual puede llegar a generarles problemas impidiéndoles pagar sus préstamos. Por otro lado, si los precios empiezan a disminuir, ocurriría todo lo contrario, es decir, tanto los empresarios como los trabajadores serían menos probables de tener problemas de solvencia y por tanto podrían pagar sus préstamos.

- Si los sueldos de los trabajadores empiezan a disminuir es más probable que incurran en un impago de deuda. En cambio, si los sueldos van en aumento, la probabilidad de que paguen los créditos también aumenta.
- Si en un mes i es probable que un trabajador o una empresa no pague su cuota de interés. La probabilidad de no pagar la cuota del siguiente mes $i + 1$ puede ser alta debido a que es poco probable que estos agentes se recuperen. Por lo tanto, se generaría una especie de efecto dominó.

Estas proposiciones nos permiten plantear la siguiente expresión:

$$\begin{aligned}
 P_g(i) = & 1 - o_1 \left(\frac{P(i - o'_1) - P(i - o''_1)}{P(i - o''_1)} \right) \\
 & + o_2 \left(\frac{S(i - o'_2) - S(i - o''_2)}{S(i - o''_2)} \right) \\
 & - r (1 - P_g(i - 1))
 \end{aligned} \tag{2.54}$$

Donde, los coeficientes o'_k y o''_k son números enteros que determinan un desfase y cumplen que $o'_k > o''_k$, para todo $k = 1, 2$. Mientras que los coeficientes r y o_k son constantes de proporcionalidad, donde r puede tomar valores entre 0 y 1.

Además, P_g siempre se encuentre dentro del intervalo:

$$0 \leq P_g(i) \leq 1 \tag{2.55}$$

Plazo de créditos o inversiones

El plazo en el que se debe pagar un préstamo en general depende del monto. Por lo tanto, proponemos que la siguiente expresión trata de adecuarse a los plazos que usualmente asigna la banca:

$$plazo = 12 \left[6,86938 \ln \left(\frac{x}{10000} + 1 \right) - 0,006 \left(\frac{x}{10000} \right) \right], \quad (2.56)$$

donde la variable x corresponde a los valores de los préstamos, es decir, los créditos (C) o las inversiones (Inv), y el $plazo$ al número de meses en el que se debe pagar el préstamo. Además, se considerará que todo préstamo por encima de \$10 000 000 tendrá un plazo de 504 meses. Se debe mencionar que los coeficientes 6,86938 y 0,006 fueron estimados.

En general, todas las variables explicadas a lo largo de esta sección, son necesarias para generar ciclos de *boom and bust*. Sin embargo, la producción, $Prod$, y el indicador de pago de cuotas de interés, P_g , serán las variables cuya evolución consideramos que determinan si existe o no una crisis financiera. En nuestro modelo, las crisis financieras se producirán siempre que la producción haya disminuido en promedio cada periodo en más del 1% y además el P_g vaya cayendo y llegando a valores menores a 0,6. Esta definición de crisis financiera, aunque aparenta ser arbitraria, se fundamentó en la evolución de las variables macroeconómicas de las crisis históricas [1, 3],

Por otro lado, en el caso de que alguna de nuestras variables llegase a ser cero, consideramos que ésta deja de tener efecto en las variables que dependen de la misma¹⁰. La única excepción ocurre en la ecuación 2.47, donde la variable de interés (I) tiene un efecto positivo en la inversión (Inv) cuando $I(i - g_3'') = 0$ (ecuación 2.48).

A continuación, se detallan las condiciones iniciales y los valores de los parámetros utilizados para la simulación. Cabe mencionar que éstos fueron planteados basándose en las tendencias y valores que toman nuestras variables en economías reales [18, 19, 20, 21]. En este modelo, nuestras condiciones iniciales y parámetros no buscan modelizar el com-

¹⁰Este proceso, en realidad, no es inmediato, debido a que las variables tienen efecto en periodos posteriores.

portamiento de una economía en específico, sino más bien, considerando aspectos de una economía real, se busca que nuestro modelo sea capaz de encontrar ciclos de *boom and bust*, y además detectar crisis financieras.

2.7. Simulación

Para la simulación se utilizaron las siguientes condiciones iniciales:

$$Prod_{max} = 100\ 000 \text{ [productos]}$$

$$Ahorro_{inicial} = 10\ 000\ 000 \text{ [\$]}$$

$$C(1) = 100\ 000 \text{ [\$]}$$

$$Inv(1) = 500\ 000 \text{ [\$]}$$

$$I(1) = 1 \text{ [%]}$$

$$Prod(1) = 20\ 000 \text{ [productos]}$$

$$G_o(1) = \alpha Prod(1) \text{ [\$]}$$

$$P(1) = 125 \text{ [$/producto]}$$

$$S(1) = l_1 Prod(1)P(1) \text{ [\$]}$$

$$P_g(1) = 0,8$$

$$C_d(1) = 0 \text{ [\$]}$$

$$V(1) = C_d(1) + C(1) + Inv(1) + G_o(1) \text{ [\$]}$$

$$A_e(1) = V(1) - S(1) - G_o(1) \text{ [\$]}$$

$$A_T(1) = S(1) - C_d(1) \text{ [\$]}$$

$$\bar{A}_e(1) = 0,65Ahorro_{inicial} + A_e(1) \text{ [\$]}$$

$$\bar{A}_T(1) = 0,35Ahorro_{inicial} + A_T(1) \text{ [\$]}$$

$$D_c(1) = Inv(1) + C_d(1) + 1,25Ahorro_{inicial} \text{ [\$]}$$

$$D_n(1) = 1,25Ahorro_{inicial} \text{ [\$]}$$

$$D_e(1) = 0 \text{ [\$]}$$

Además, los parámetros utilizados para cada una de las variables que determinan la dinámica de la economía, son los siguientes:

Crédito, C

$$a_1 = 0,2 \quad a'_1 = 1 \quad a''_1 = 3$$

$$a_2 = 0,6 \quad a'_2 = 1 \quad a''_2 = 4$$

$$a_3 = 0,1 \quad a'_3 = 1 \quad a''_3 = 6$$

Gastos operacionales, G_o

$$b_1 = 0,8 \quad b'_1 = 1 \quad b''_1 = 3$$

$$\alpha = 70 \text{ [$/producto]}$$

Producción, $Prod$

$$d_1 = 0,04 \quad d'_1 = 1 \quad d''_1 = 7$$

$$d_2 = 0,005 \quad d'_2 = 1 \quad d''_2 = 12$$

$$d_3 = 0,001 \quad d'_3 = 1 \quad d''_3 = 5$$

Interés, I

$$f_1 = 0,6 \quad f'_1 = 1 \quad f''_1 = 4$$

$$f_2 = 0,01 \quad f'_2 = 1 \quad f''_2 = 8$$

Inversiones, Inv

$$g_1 = 0,2 \quad g'_1 = 1 \quad g''_1 = 6$$

$$g_2 = 0,05 \quad g'_2 = 1 \quad g''_2 = 4$$

$$g_3 = 0,3 \quad g'_3 = 1 \quad g''_3 = 3$$

Consumos directos, C_d

$$\gamma = 0,65$$

$$h_1 = 0,9 \quad h'_1 = 1 \quad h''_1 = 4$$

$$h_2 = 0,02 \quad h'_2 = 1 \quad h''_2 = 6$$

Precios, P

$$t = 6$$

$$\hat{t} = 4$$

Sueldos, S

$$l_1 = 0,6$$

$$l_2 = 9$$

Indicador de pago de cuotas de interés, P_g

$$r = 0,8$$

$$o_1 = 0,1 \quad o'_1 = 1 \quad o''_1 = 5$$

$$o_2 = 0,8 \quad o'_2 = 1 \quad o''_2 = 4$$

Para realizar la simulación se escribió un programa en lenguaje de fortran 95. En este programa, que se encuentra en el anexo [A](#), se definieron subrutinas para cada una de las expresiones que determinan la dinámica de la economía y también se fijaron sus parámetros.

En el siguiente capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la simulación.

Capítulo 3

Resultados, conclusiones y recomendaciones

3.1. Resultados

A partir de las condiciones iniciales y parámetros escogidos, en este capítulo se presentarán los resultados de la simulación computacional. La presentación de los resultados se dividirá en tres secciones. En la primera sección se presentará y analizará la evolución de cada una de las variables que determinan la dinámica de la economía durante los primeros 100 meses. En la segunda sección se evalúa si existe o no el estallido de una crisis financiera. Finalmente, en la última sección se verifica si el modelo planteado es capaz o no de producir ciclos de *boom and bust* dentro de un periodo de 1000 meses.

3.1.1. Evolución de las variables que determinan la dinámica de la economía

Al realizar la simulación general de la economía, en esta sección, se muestran como algunas de las variables que son determinantes en su evolución, han ido variando durante los primeros 100 meses.

La evolución del crédito, C , dependía de cómo varían los sueldos (S), los precios (P) y los ahorros que tienen guardado los trabajadores en la banca (\bar{A}_T). En la figura 3.1 se puede observar que el crédito crece

o decrece muy rápido dependiendo de que tanto varían los sueldos y/o los precios. Además, se puede notar que cuando no existen variaciones significativas de los precios o de los sueldos, esto se traduce en pequeñas variaciones de los créditos. Por otro lado, a pesar de que los ahorros de los trabajadores tienen una tendencia creciente, su efecto en los créditos no resulta ser considerable.

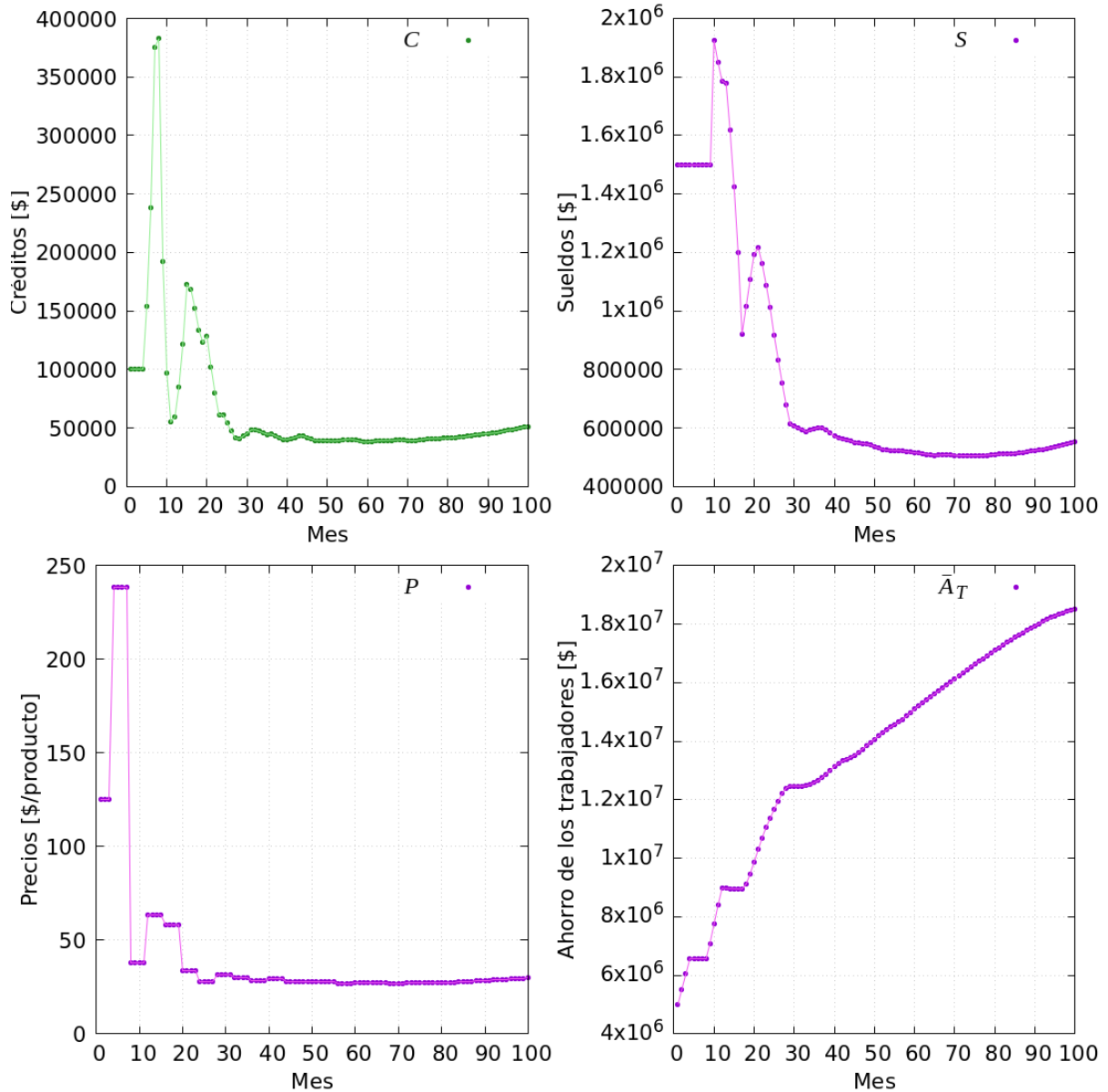


Figura 3.1: Evolución de los créditos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En el caso de los gastos operacionales, G_o , su evolución venía dada

por cambios en la producción ($Prod$) y de los precios (P). La figura 3.2 muestra que los gastos operacionales siguen una tendencia similar a la de la producción, pero con oscilaciones. Estas oscilaciones se deben a las variaciones de los precios. Si los precios dejan de variar significativamente, se puede notar que los gastos operacionales también empiezan a tener pequeñas oscilaciones.

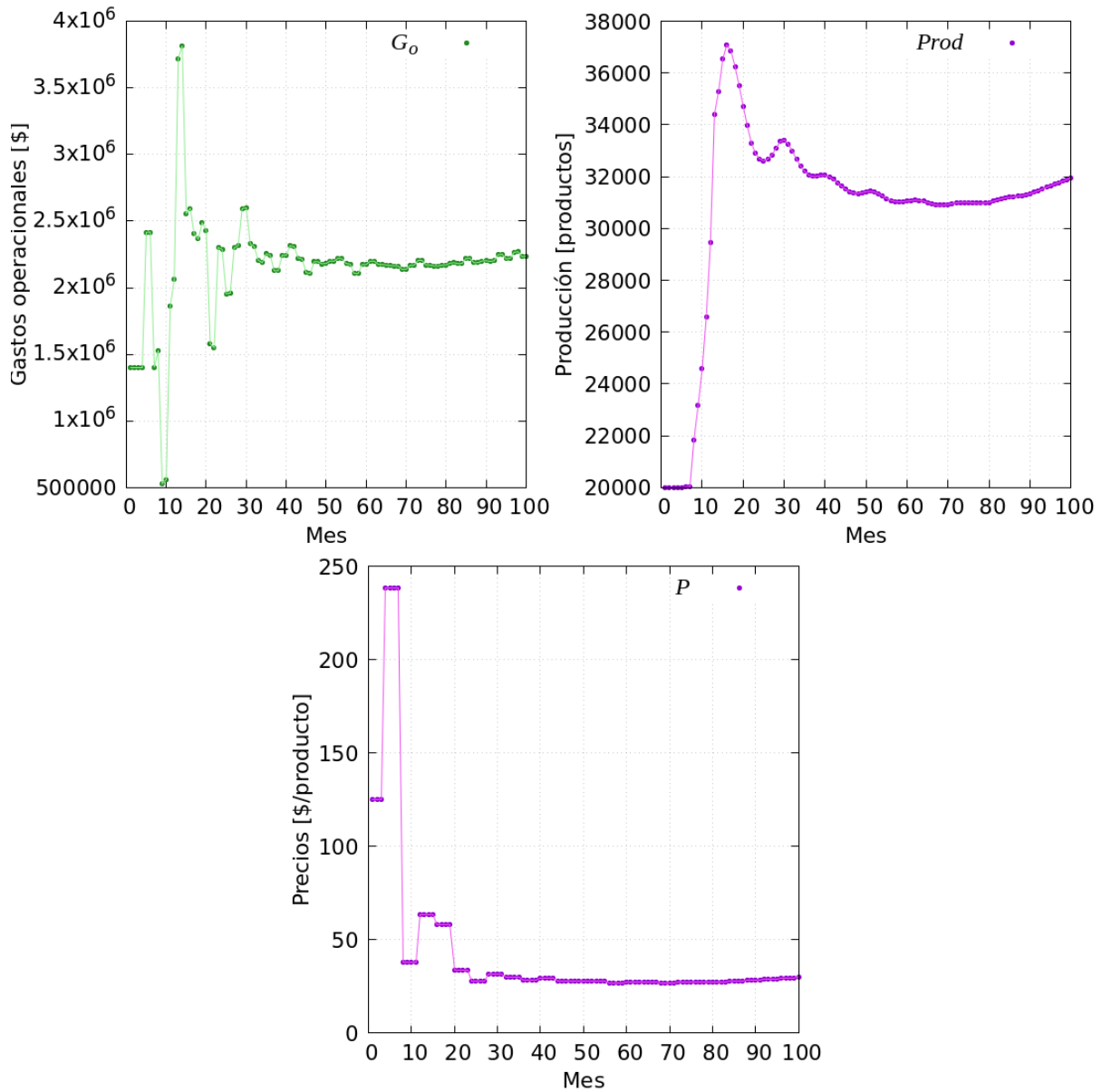


Figura 3.2: Evolución de los gastos operacionales y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En lo que respecta a la producción, $Prod$, su evolución dependía de las

inversiones (Inv), los sueldos (S) y los gastos operacionales (G_o). Si se observa la figura 3.3, la producción adopta una tendencia muy similar a la de las inversiones y de los gastos operacionales. No obstante, la tendencia de la producción tiene un retraso con respecto a la de las inversiones, lo cual se debe a que las inversiones están logrando aumentos en la producción en tiempos posteriores. Adicionalmente, se puede notar que los sueldos no afectan significativamente las variaciones de la producción.

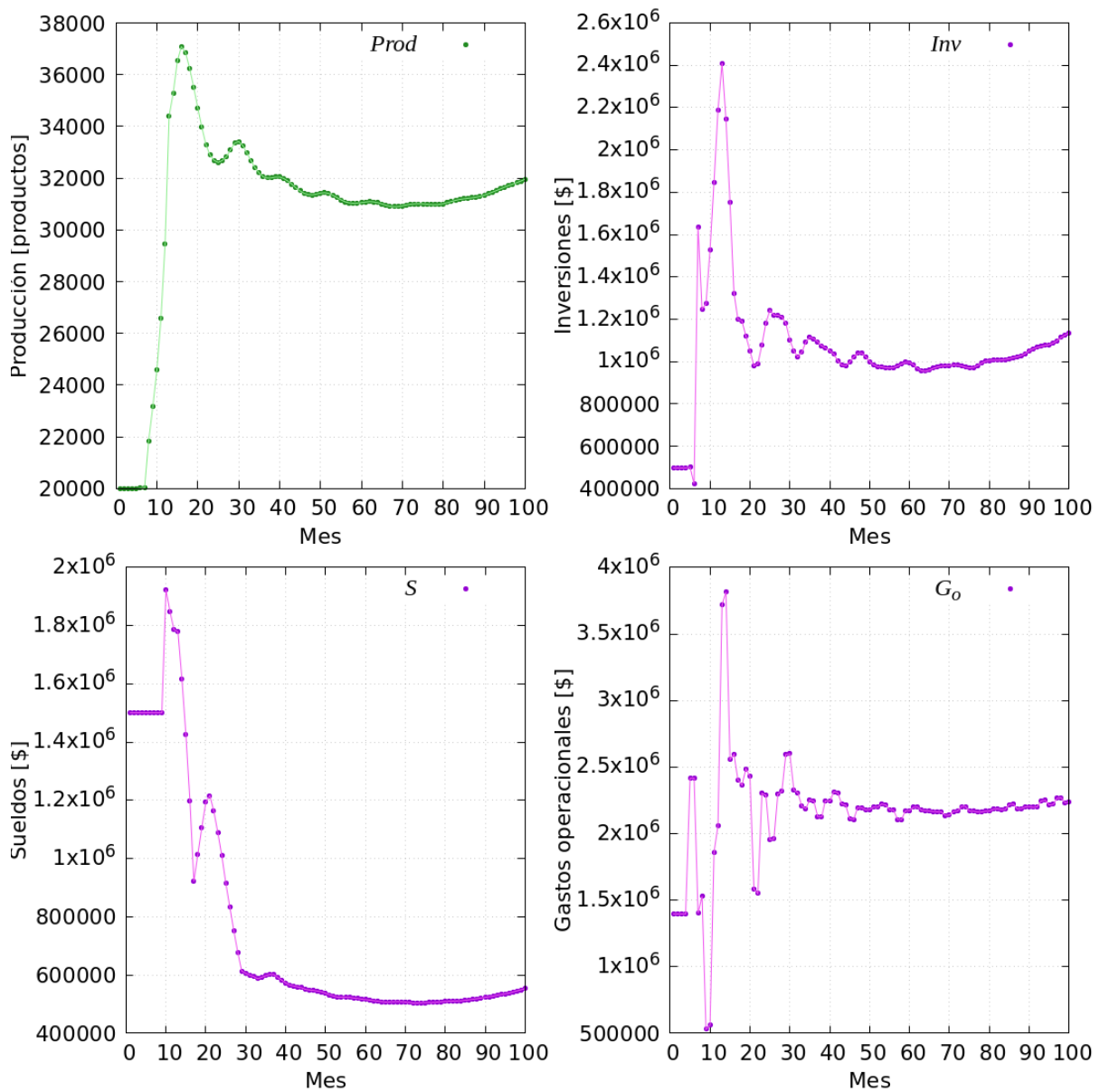


Figura 3.3: Evolución de la producción y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En el caso de la tasa de interés, I , su evolución dependía de los precios (P) y de la producción ($Prod$). En la figura 3.4 se puede notar que los precios y el interés tienen una relación directamente proporcional, pero con un retraso, donde el interés aumenta (disminuye) si los precios en los meses anteriores han ido en aumento (caída). Por otro lado, la producción resulta ser un factor poco determinante en la evolución del interés.

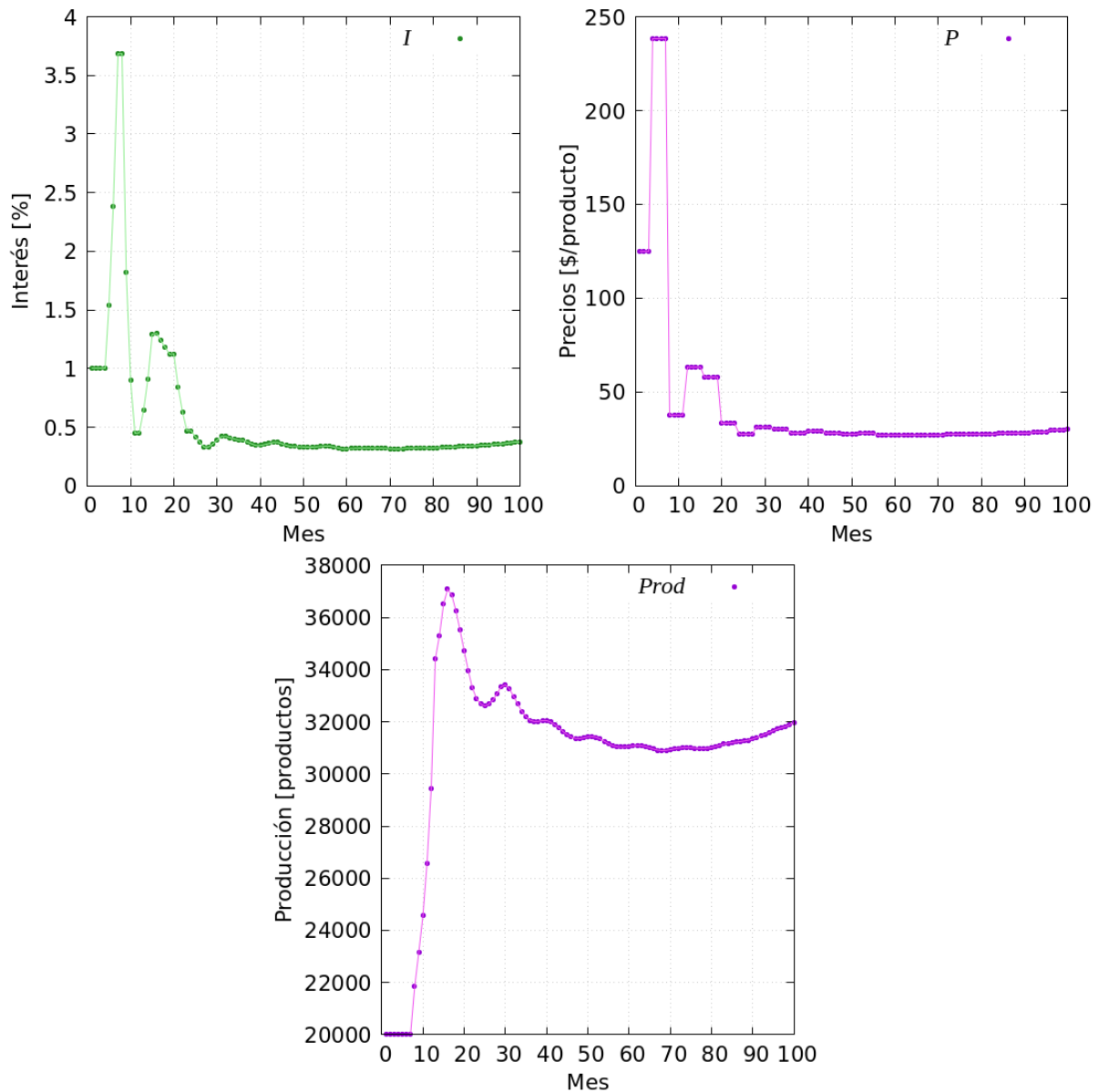


Figura 3.4: Evolución de la tasa de interés y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En cuanto a la evolución de las inversiones, Inv , esta se relacionaba

con cambios en los gastos totales (C_T), en los ahorros que tienen guardado las empresas en la banca (\bar{A}_e) y en la tasa de interés (I). La figura 3.5 muestra que la dinámica de las inversiones depende mayoritariamente de los gastos totales. Mientras que, los ahorros de las empresas y la tasa de interés reflejan no tener mucha influencia en las inversiones. Se podría decir que mientras los trabajadores se encuentren comprando sus productos, las empresas tenderán a invertir, caso contrario dejarán de hacerlo.

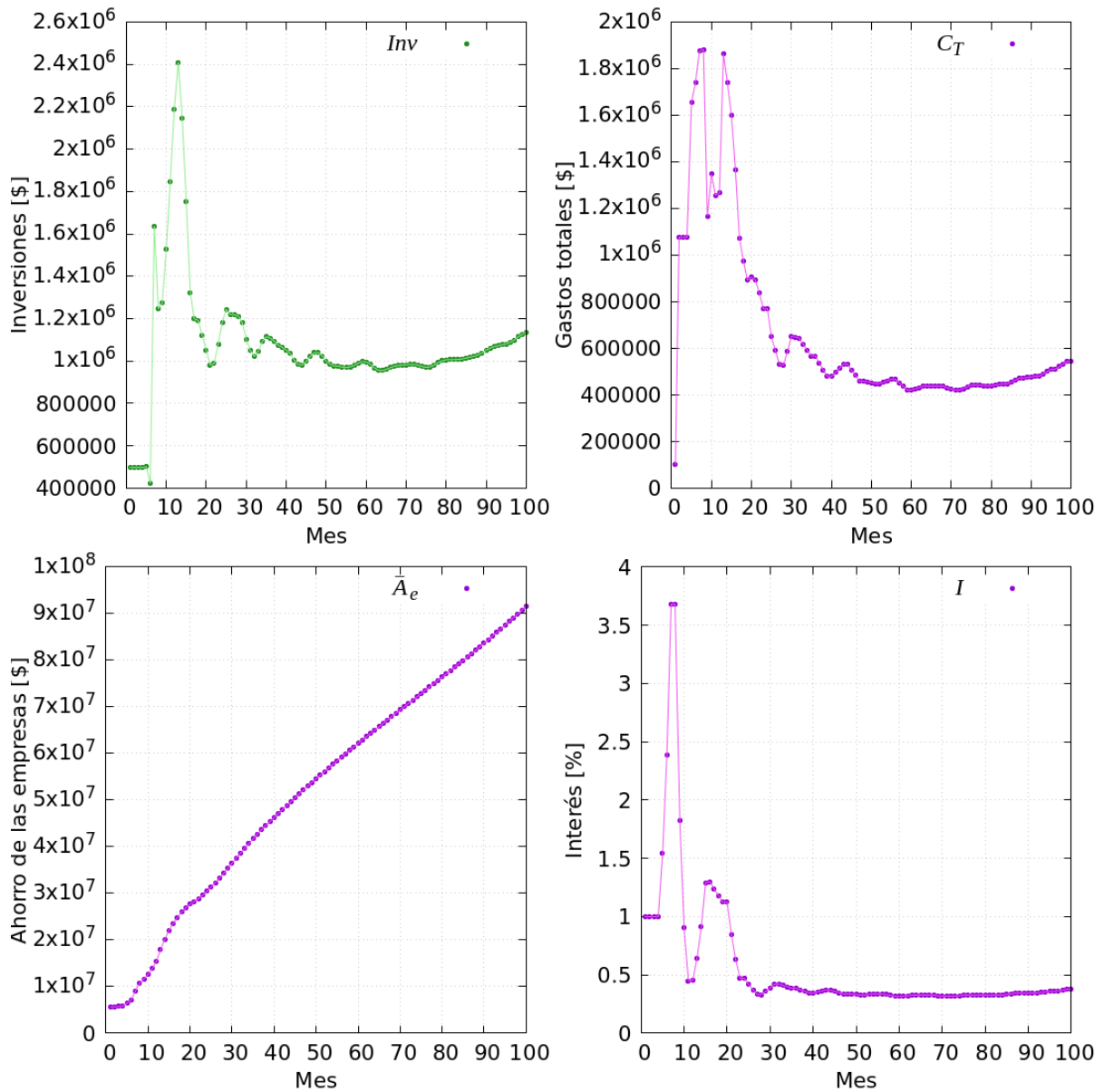


Figura 3.5: Evolución de las inversiones y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En el caso de los consumos directos, C_d , su evolución venía dada por los precios (P) y los sueldos (S). En la figura 3.6 se puede observar que en general si los precios o los sueldos aumentan o disminuyen, los consumos directos también varían en el mismo sentido. Cabe destacar que, los precios influyen en mayor medida que los sueldos.

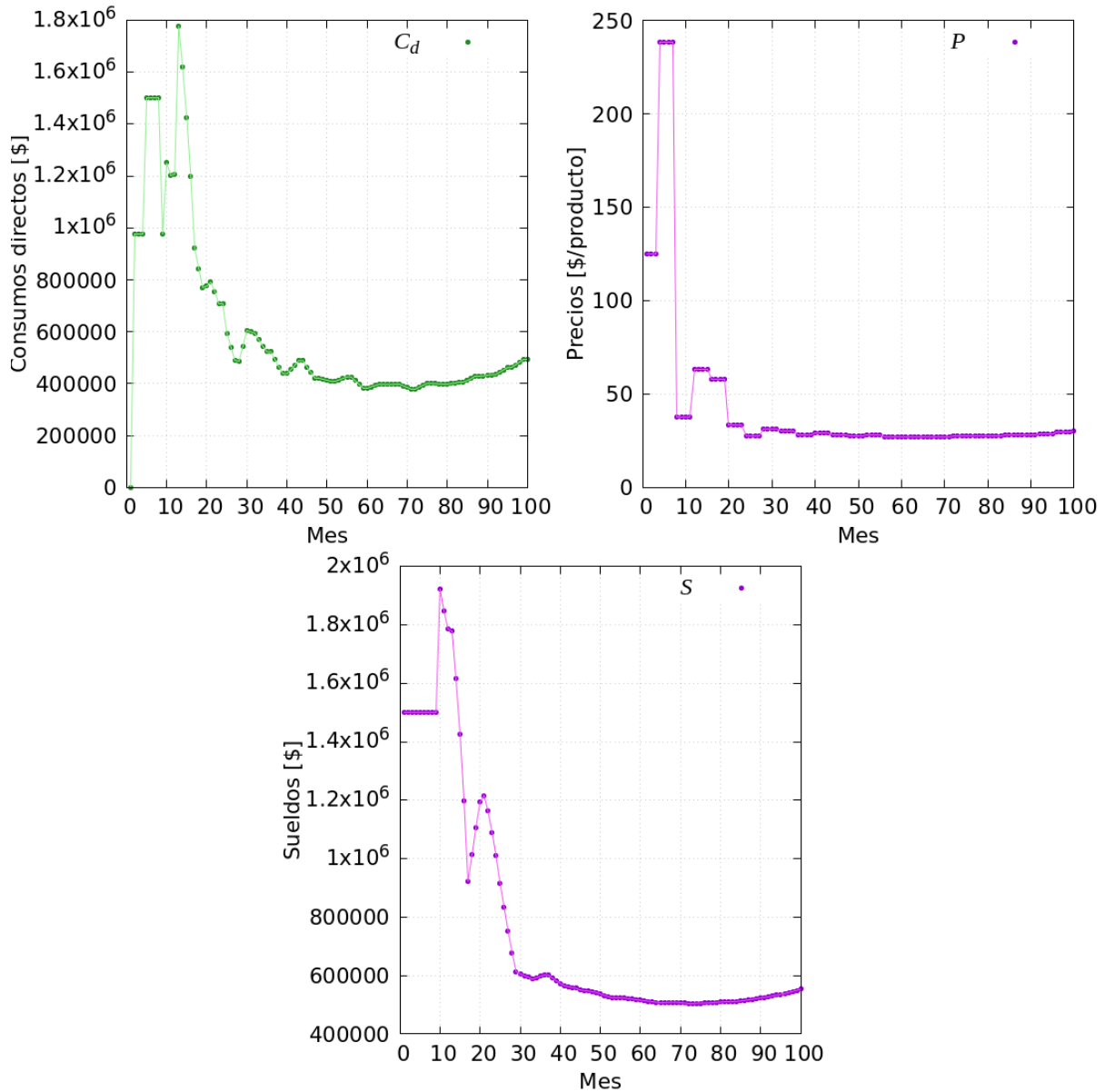


Figura 3.6: Evolución de los consumos directos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En cuanto a la evolución de los precios, P , esta dependía de cómo varía el dinero en circulación (D_c) y la producción ($Prod$). En la figura 3.7

se puede notar que a pesar de que en general el dinero en circulación va en aumento, el crecimiento continuo en la producción puede lograr que los precios no vayan en aumento. Adicionalmente se puede inferir que un crecimiento constante del dinero en circulación no causa cambios significativos en los precios.

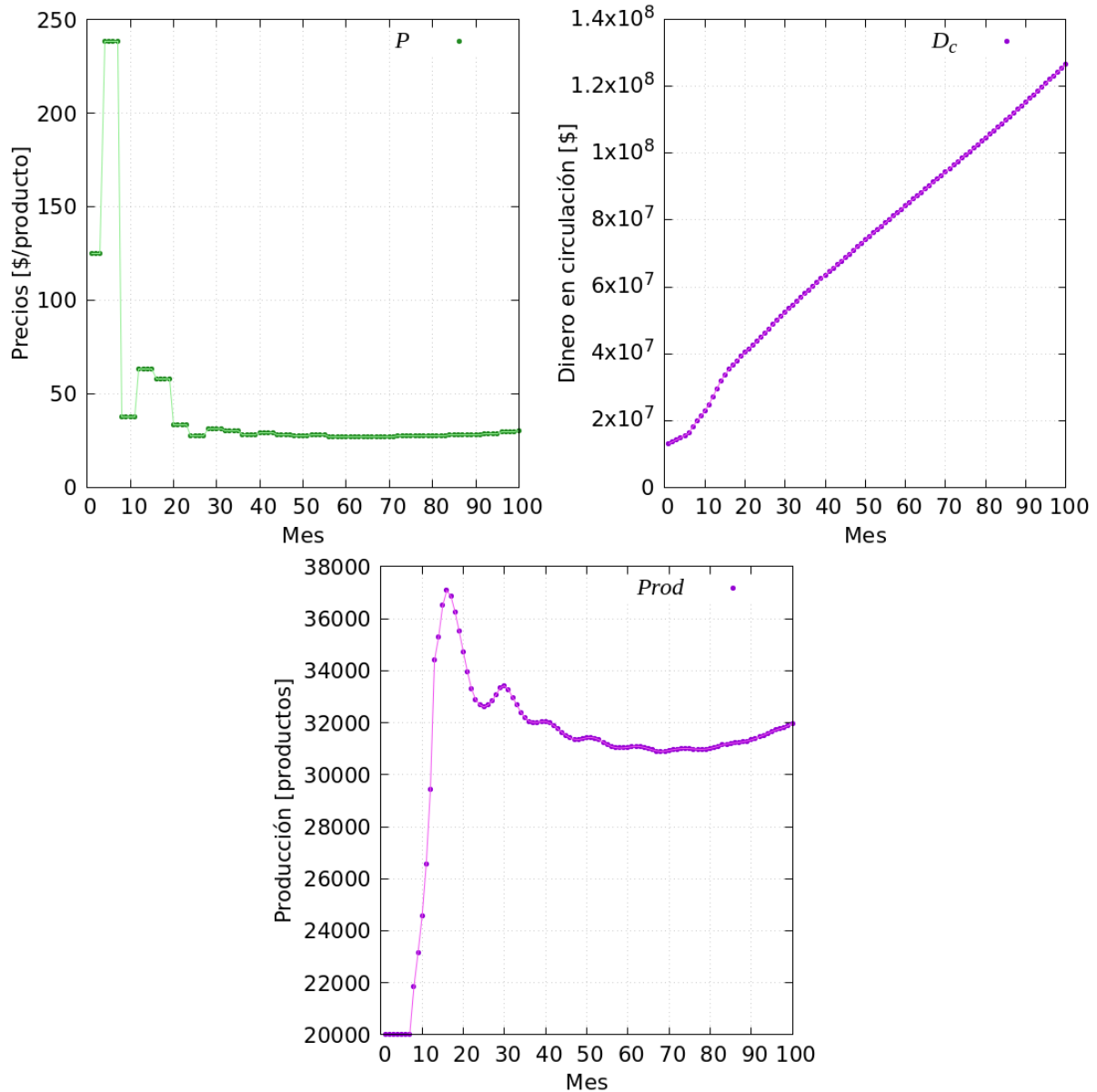


Figura 3.7: Evolución de los precios y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En lo que respecta a los sueldos, S , su evolución estaba determinada por cambios en la producción ($Prod$) y los precios (P). En la figura 3.8 se

puede notar que, analizando la evolución de los precios y la producción, la variación de los precios resulta tener mayor influencia en los sueldos. Un aumento o una caída drástica de los precios, puede hacer que de igual manera suban o bajen rápidamente los sueldos.

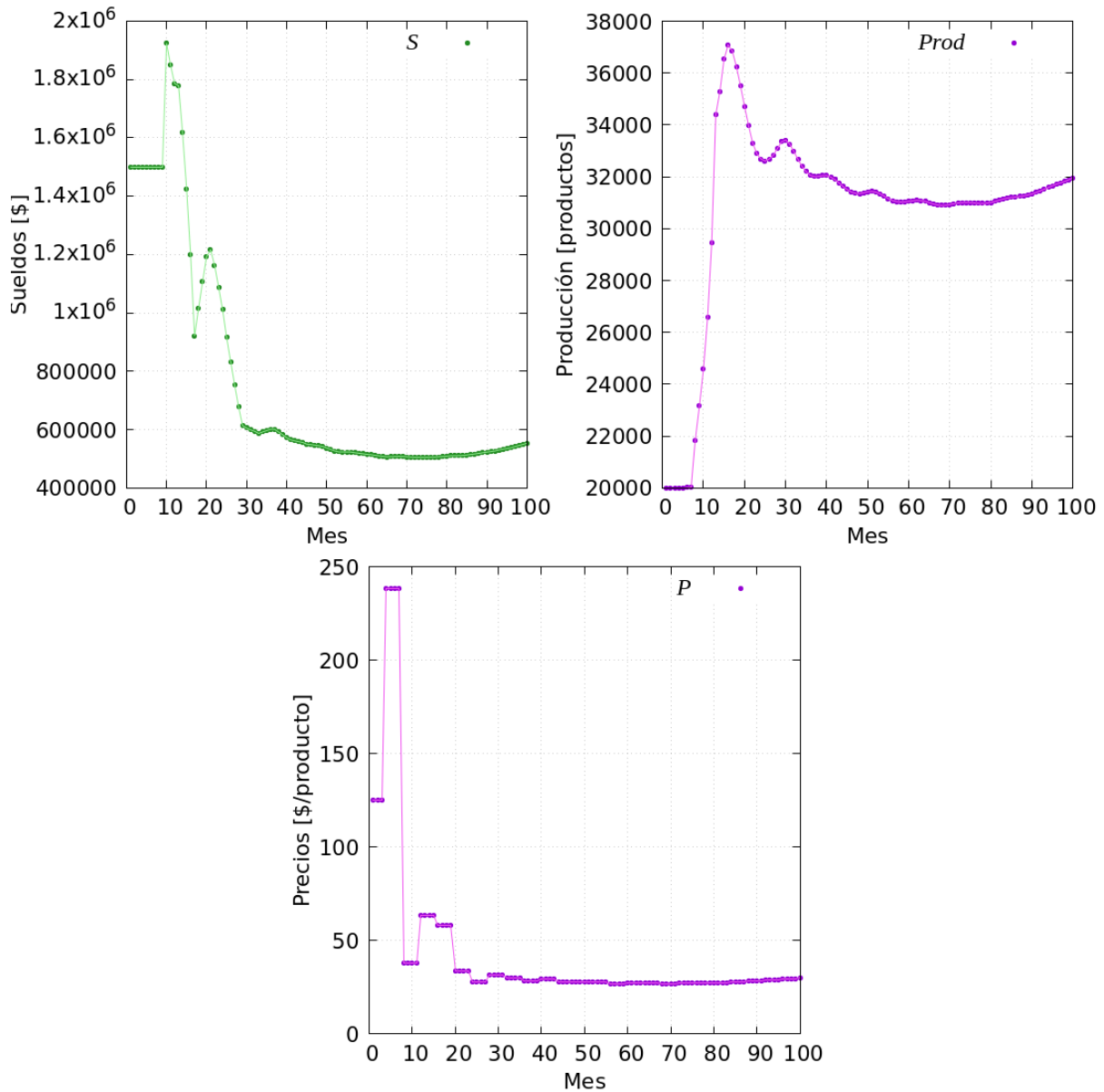


Figura 3.8: Evolución de los sueldos y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En el caso del indicador de pago de cuotas de interés, Pg , su evolución dependía de los precios (P), de los sueldos (S) y también de su propia tendencia. En la figura 3.9 se puede notar que este indicador es muy sen-

sible a cambios ya sea de los sueldos o de los precios. Cuando los precios o los sueldos disminuyen, este indicador puede llegar a caer rápidamente, mientras que si los precios o los sueldos tienden a subir nuevamente, el indicador se recupera y puede volver a subir rápidamente.

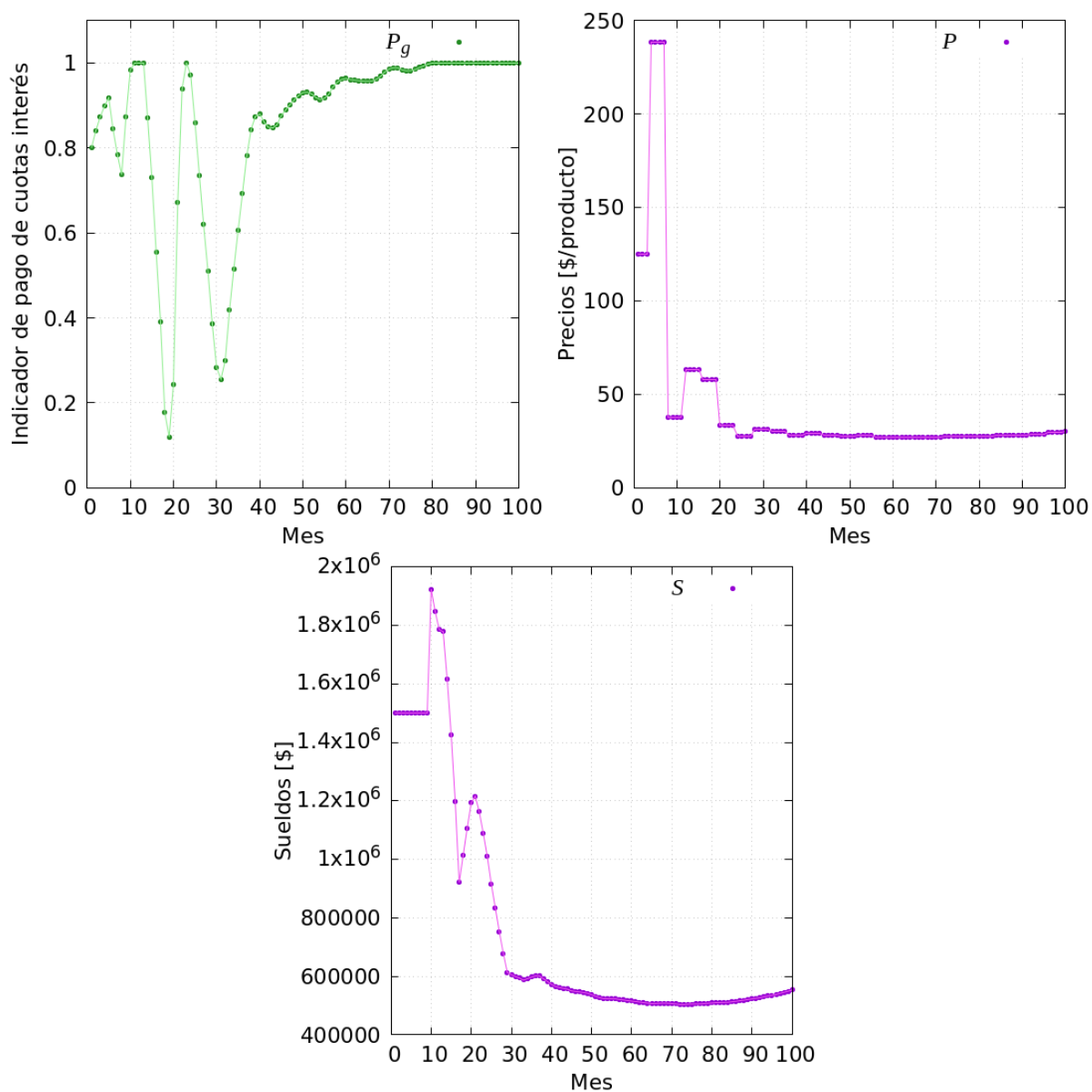


Figura 3.9: Evolución del indicador de pago de cuotas de interés y de las variables responsables de su dinámica durante un periodo de 100 meses

En cuanto a la evolución del dinero, observando la figura 3.10 se puede notar que durante los primeros 100 meses, el dinero circulando en la economía (D_c), el dinero que tiene la banca (D_n) y el dinero emitido por el

banco central (D_e) tienen una tendencia creciente. El dinero circulando en la economía y el que emite el banco central, se encuentran relacionados directamente, es por eso que siguen una tendencia similar. Mientras que, el dinero total que tiene la banca crece de diferente manera debido a que depende de si los préstamos están siendo o no pagados.

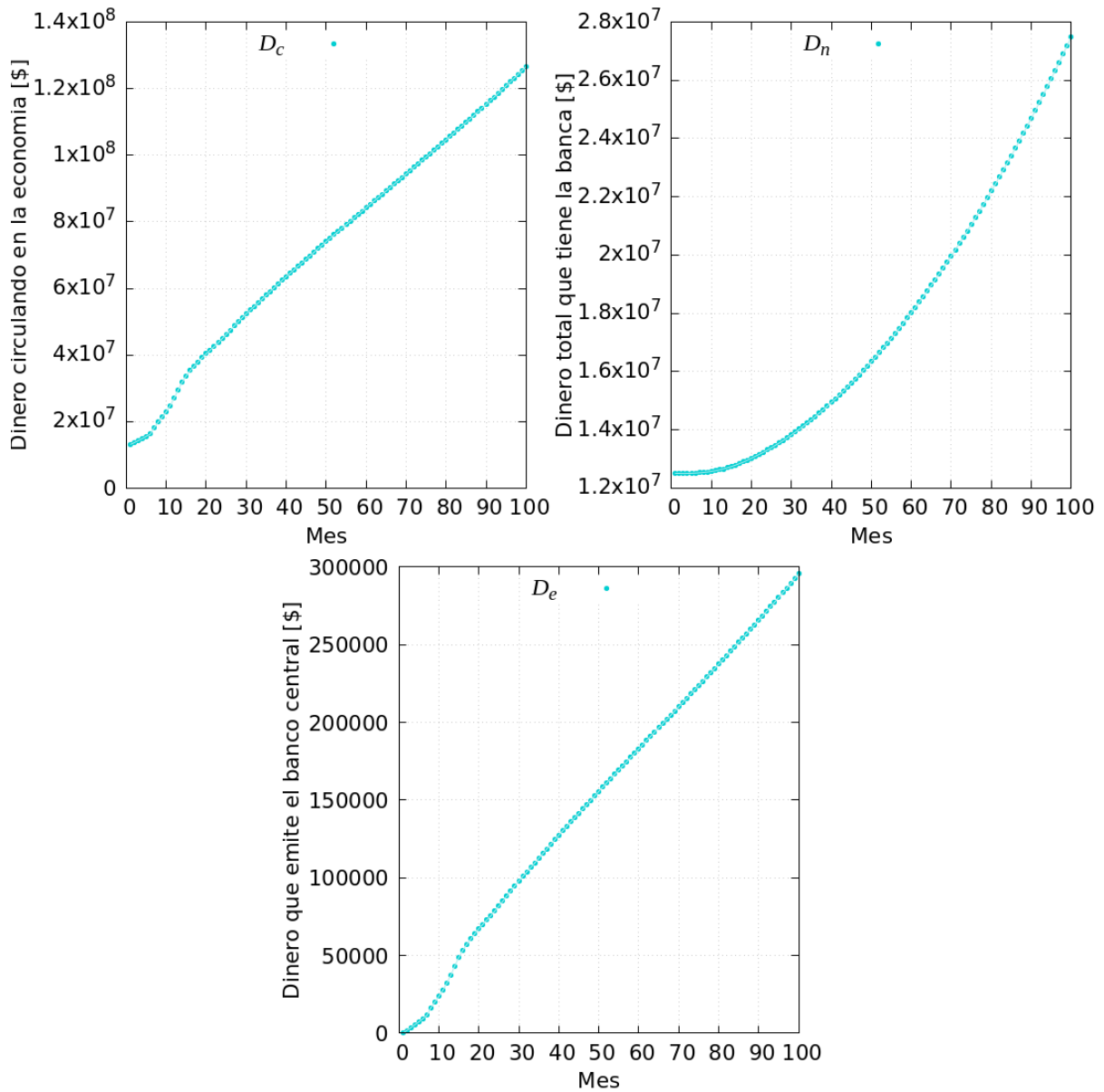


Figura 3.10: Evolución del dinero en la economía durante un periodo de 100 meses

En general, al observar todos los resultados anteriores se puede destacar que, al relacionarse todas las variables entre sí de manera indirecta o

directamente, no existe alguna inconsistencia que nos permita decir que alguna de nuestras variables se está comportando de una forma completamente distinta a como fue planteado desde un inicio en el capítulo 2. Es por esto que estos resultados nos dan seguridad de que nuestra economía está evolucionando coherentemente.

Para poder analizar cómo está evolucionando nuestra economía, podemos referirnos a nuestra **ecuación del ahorro total en la economía** (ecuación 2.39). Recordemos que A_{TOT} es símbolo de que se está generando una ganancia, por tanto, mientras ésta vaya creciendo y sea positiva, se puede decir que la economía está ganando en conjunto (empresas y trabajadores). Caso contrario, estaría perdiendo. En la figura 3.11 se puede observar que hasta el mes 13, las ganancias de los empresarios y trabajadores van en aumento. Sin embargo, a partir del mes 14, el ahorro total empieza a disminuir de manera rápida y sin lograr recuperarse de manera significativa. Esto nos hace pensar que ocurrió algún suceso importante que cambió la tendencia de este indicador.

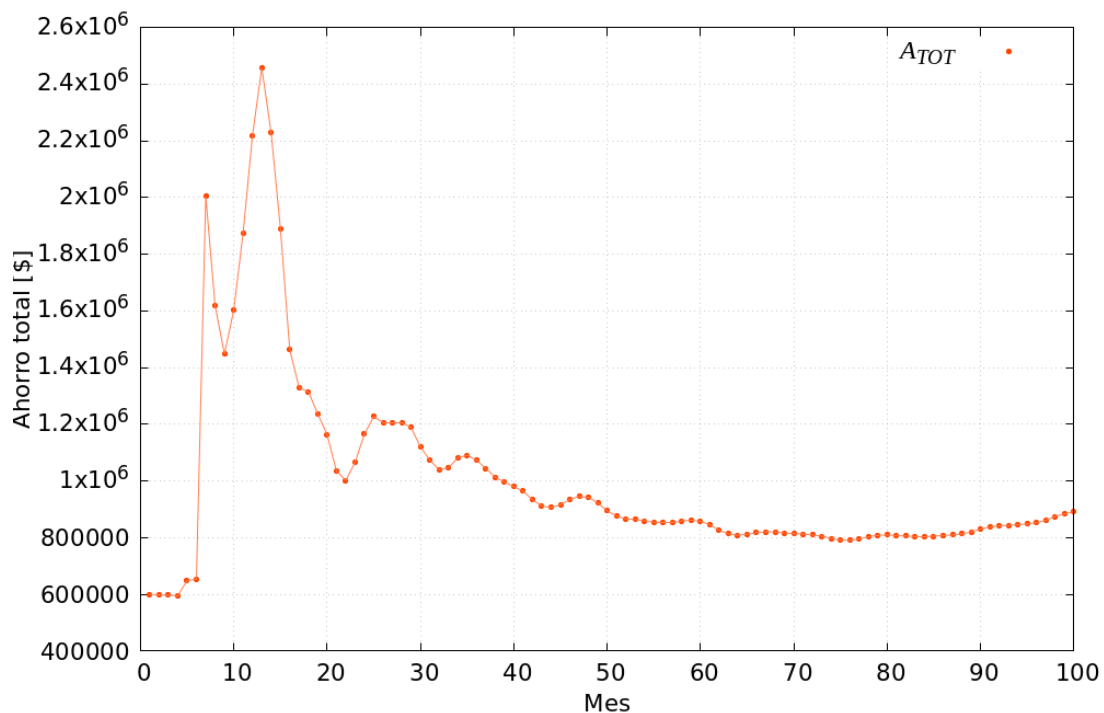


Figura 3.11: Evolución del ahorro total durante un periodo de 100 meses

En la siguiente sección se podrá entender de mejor manera, por qué la ganancia de la economía se desaceleró sin lograr recuperarse.

3.1.2. Crisis Financiera

Para poder certificar si durante este periodo de 100 meses ha existido o no una crisis financiera, se debe recurrir a ciertas variables que nos ayudan con este propósito. Estas variables son: las ventas (V), la producción ($Prod$), los precios (P), la tasa de interés (I) y el indicador de pago de cuotas de interés (P_g). En la figura 3.12 se puede ver la evolución de estas variables.

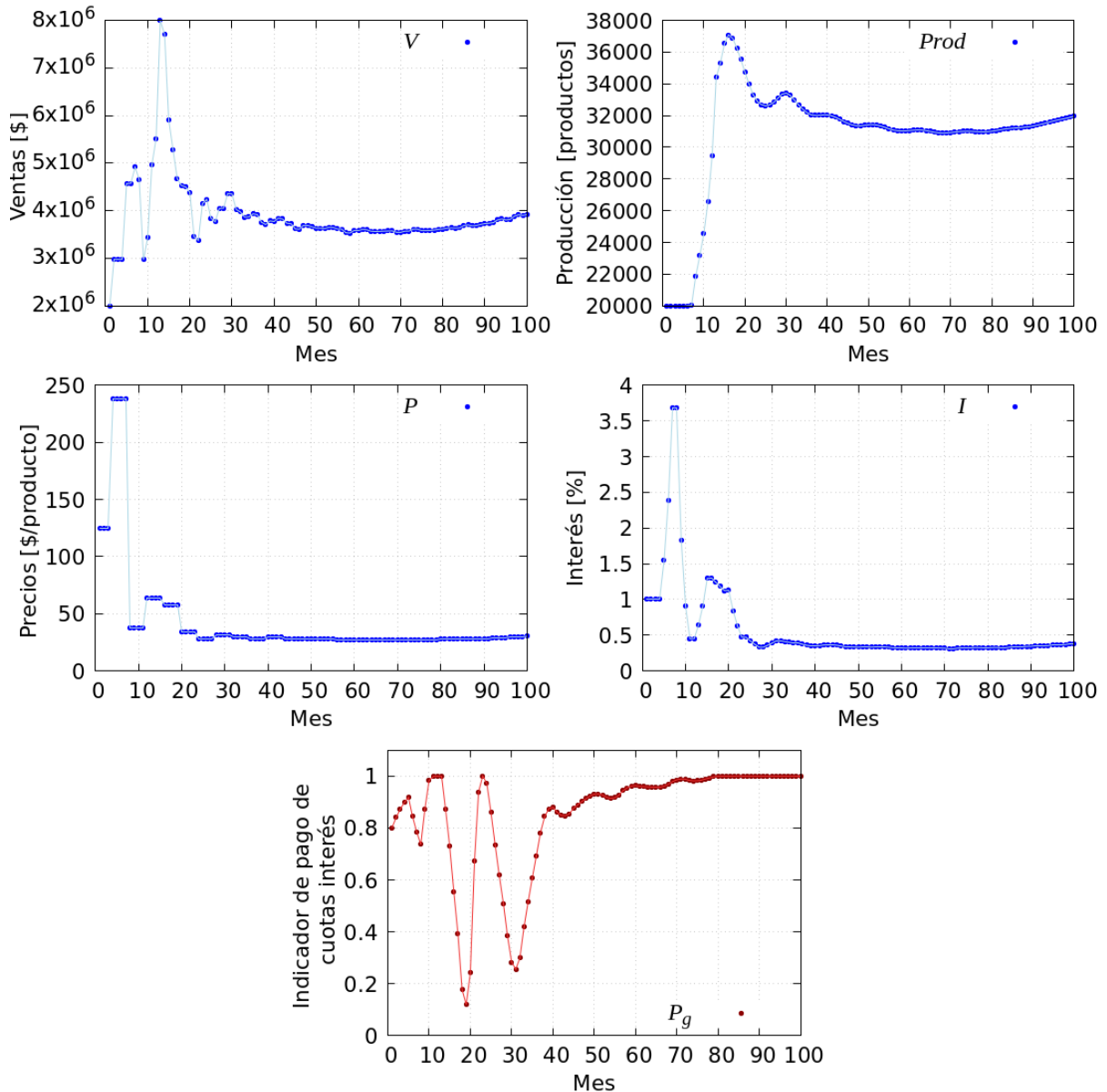


Figura 3.12: Evolución de las variables que se consideran más relevantes en la detección y evaluación de las crisis financieras

En esta figura se puede notar que en los primeros 30 meses ha existido mucha volatilidad en todas estas variables. En el caso de los precios, se puede observar que estos prácticamente se duplicaron, pasando de 125 [\$/producto] a 238,33 [\$/producto], entre el mes 3 y 4. Esta subida inmediata de los precios, que duró hasta el mes 8, provocó que la tasa de interés también aumentará para contrarrestar la inflación (evitando que se siga inyectando más dinero a la economía), pasando de ser 1% en el mes 1 a 3,68% en el mes 8.

Al aumentar la tasa de interés y los precios, esto poco a poco va afectando directamente al poder adquisitivo tanto de los trabajadores como de las empresas provocando que con el tiempo les sea más difícil pagar sus préstamos. Entonces, lo que se produce es que la tasa de morosidad va en aumento, o visto de otra forma, vaya disminuyendo el indicador P_g . En la figura 3.12, se puede observar este efecto entre los meses [10;20] ya que el indicador pasó de ser 0,98 en el mes 10 a 0,24 en el mes 20.

El aumento de los precios y de la tasa de interés, y ahora también el aumento de la morosidad, en conjunto tienen un efecto determinante en las ventas y en la producción. Por un lado, las ventas se ven afectadas ya que, al aumentar la tasa de interés resulta más costoso endeudarse para comprar y, si además se considera que la morosidad ha aumentado, también es más difícil acceder a un préstamo. En la figura 3.12, a partir del mes 14 las ventas empezaron a caer de manera notable. Lo mismo ocurre con la producción ya que al ser más caro endeudarse, las empresas tienden a dejar de invertir y gastar, y si se le suma el hecho de que las ventas van disminuyendo, la producción tiende a caer aún más. En el caso de la producción, el efecto no se da tan pronto como en las ventas, ya que la producción también depende de inversiones y gastos hechos en meses anteriores, por lo tanto, la producción se verá afectada en un tiempo posterior. En la figura 3.12 se puede notar que en el mes 16 se presenta un pico de producción y a partir de ahí la producción empieza a disminuir.

Ahora, recordemos que si durante un periodo de 5 meses, la producción ha disminuido en promedio cada mes en más del 1% y además el P_g ha ido cayendo, llegando a valores menores a 0,6, se tiene evidencia de que está ocurriendo una crisis financiera. En nuestro caso, durante

los meses [16;20] la producción ha disminuido en promedio 1,63% cada mes, y además el P_g durante este periodo se encuentra por debajo de 0,6. Por lo tanto, se puede concluir que en nuestra economía existió una crisis financiera que estalló en el mes 16. Esta crisis desaceleró de manera rápida y prolongada las ventas y la producción. Es más, en la figura 3.12 se puede observar que estas variables no empiezan a recuperarse hasta el mes 80.

Cabe mencionar que el aumento de los precios y de la tasa de interés, y en especial la crisis financiera son los causantes de que los ahorros totales (A_{TOT}), en la figura 3.11, empiecen a decaer a partir del mes 14, y cada vez más rápido.

Una vez conocido este panorama, sería interesante conocer qué pasa después de una crisis financiera. Es decir, saber si después de un largo periodo de tiempo la economía logra recuperarse y mantenerse creciendo, o más bien se forman ciclos de *boom and bust*. En este sentido, a continuación se presentan los resultados de la simulación para un periodo de 1000 meses.

3.1.3. Ciclos de *boom and bust*

Para determinar si existen o no ciclos de *boom and bust*, se puede estudiar la evolución de la producción en el tiempo. Durante el periodo de contracción (*bust*), la producción empieza a caer en cascada. En cambio, cuando la economía se recupera, la producción empieza a subir de nuevo logrando que la economía se expanda (*boom*). En este sentido, ciclos claros en la producción serían un indicador de ciclos de *boom and bust*. Al observar la figura 3.13, se puede notar que después del estallido de la crisis financiera en el mes 16, la producción logra recuperarse y empezar a describir altibajos, tal y como los ciclos de *boom and bust* mostrados en la figura 1.1.

Al evolucionar de este modo la producción, se esperaría que la **ecuación del ahorro total en la economía** (A_{TOT}) se comporte de la misma manera, es decir, presente ciclos. Si se observa la figura 3.14, se puede notar que A_{TOT} también presenta ciclos.

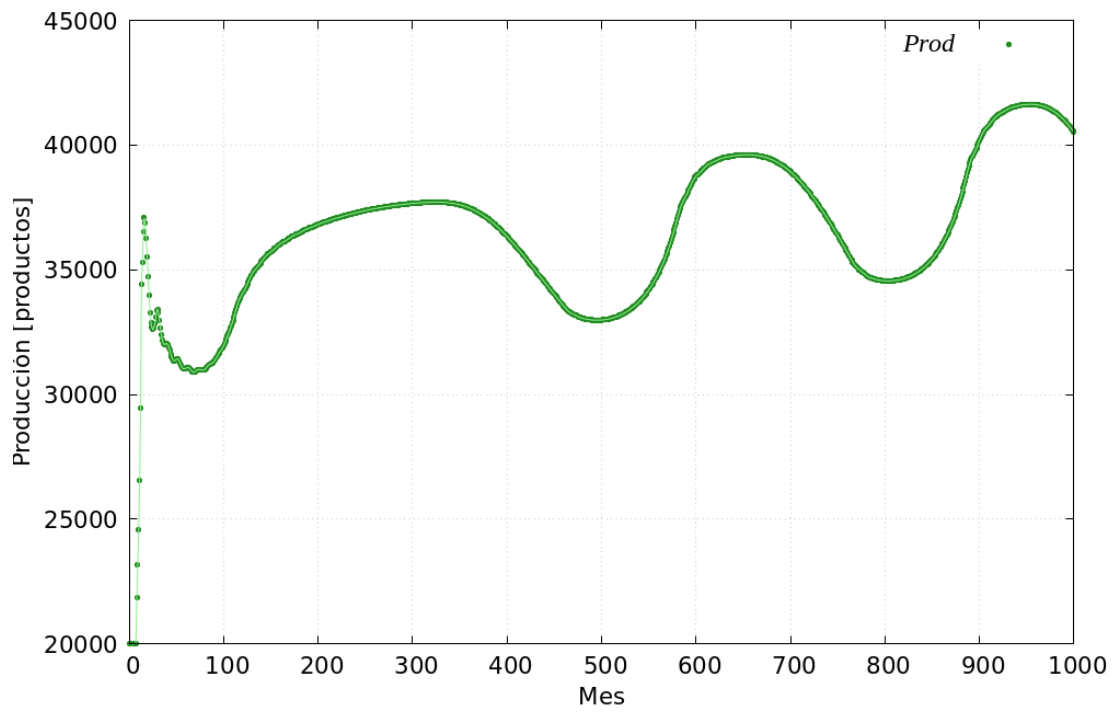


Figura 3.13: Evolución de la producción durante un periodo de 1000 meses

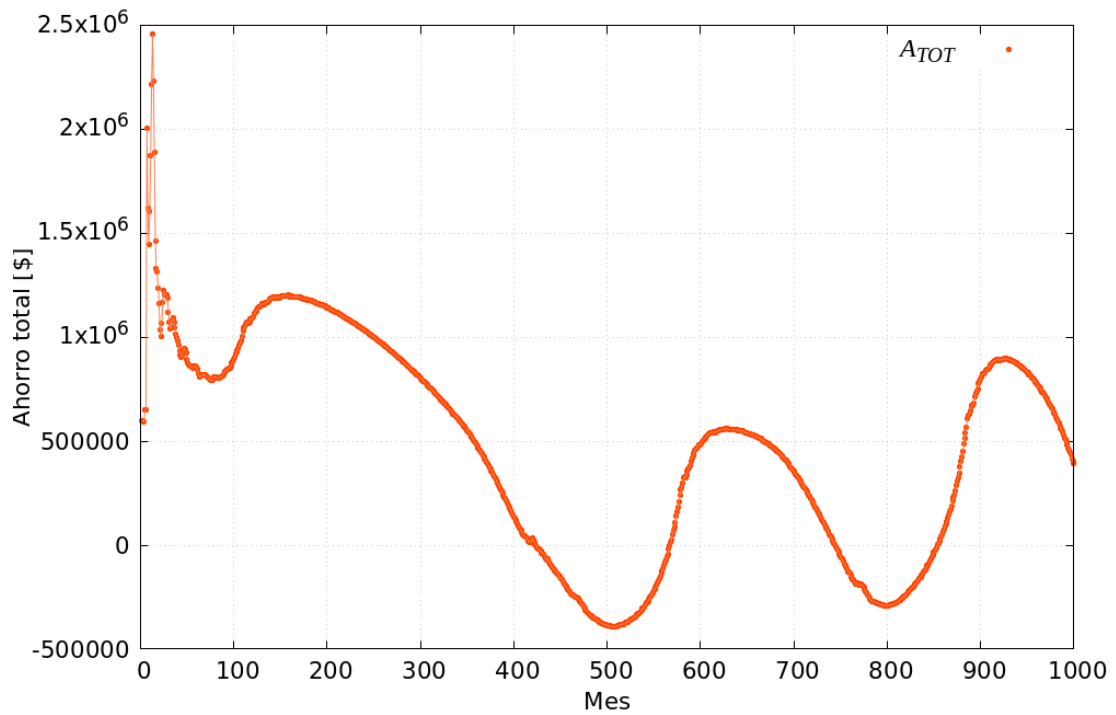


Figura 3.14: Evolución del ahorro total durante un periodo de 1000 meses

Las figuras correspondientes a las evoluciones temporales de los créditos (C), los gastos operacionales (G_o), la tasa de interés (I), las inversiones (Inv), los consumos directos (C_d), los precios (P), los sueldos (S), el indicador de pago de cuotas de interés (P_g), y de las ventas (V), se encuentran en el anexo B.

3.2. Conclusiones y recomendaciones

En este trabajo se logró cumplir con el objetivo de simular un modelo cerrado que representa una economía ficticia basada en ciertos aspectos fundamentales de una economía real.

El modelo propuesto es capaz de reproducir ciclos de *boom and bust* y, además, producir crisis financieras. Por lo tanto, la variación de las variables consideradas por el modelo podrían servir para identificar crisis financieras reales.

Los resultados obtenidos durante los primeros 100 meses podrían considerarse como un “transiente”, que parte de ciertas condiciones iniciales arbitrarias, y que acaba cuando el sistema se “estacionariza” alrededor de la zona crítica de nuestro modelo SOC, momento a partir del cual se empiezan a ver ciclos de *boom and bust*.

Se debe tener en cuenta que si se utilizan diferentes condiciones iniciales o parámetros, es posible generar ciclos de *boom and bust* con periodos más cortos, similares a los presentados por economías reales. En caso de utilizar este modelo para futuras investigaciones, se recomienda utilizar el mayor número de decimales posibles. Si, al fijar ciertas condiciones iniciales y parámetros, se utiliza poca precisión en los cálculos, es muy probable que se obtengan siempre diferentes resultados. Esto último puede sugerir la presencia de un comportamiento caótico en el sistema. En el presente trabajo no se realizó ningún estudio detallado que muestre claramente este comportamiento, por lo tanto, se recomienda estudiarlo en el futuro.

Aunque los resultados presentados corresponden a una economía hipotética, para futuras investigaciones se podría recomendar utilizar datos reales de una economía y realizar una especie de ajuste que permita en-

contrar cada uno de los parámetros planteados en nuestro modelo. En el caso de que sea posible estimar estos parámetros, se podría verificar la validez de nuestro modelo al contrastarlo con datos reales. También se podrían utilizar *modelos basados en agentes* para precisar mejor la ecuaciones que gobiernan la evolución de ciertas variables.

En conclusión, nuestro estudio demuestra que modelando la economía bajo una perspectiva diferente a lo usual (teoría clásica), es posible generar un primer modelo capaz de permitirnos estudiar y predecir crisis financieras.

Capítulo A

Programa

```
program tes

integer, parameter :: rp = selected_real_kind(33, 4931) !Precision

!*****Tiempo de evolucion*****!
integer, parameter :: evolti=100 !Tiempo total de evolucion en meses

!*****Variables dependientes*****!
real(rp) :: V(evolti),A_e(evolti),A_t(evolti), A_tot(evolti)

!*****Variables independientes*****!
real(rp) :: Inv(evolti), S(evolti), C_t(evolti), C_r(evolti), Prod(
    evolti), I(evolti), &
Pg(evolti), P(evolti), D_e(evolti), D_n(evolti), D_c(evolti), G_o(
    evolti)

!*****Variables auxiliares*****!
real(rp) :: Ahorro_ini,Atot_e(evolti), Atot_t(evolti), Inv_cap(
    evolti), C_r_cap(evolti), Inv_pag(evolti), &
    C_r_pag(evolti)
integer :: jj, kk, tiempoavan(evolti), tiempocre(evolti)

!*****Parametros*****!
real(rp) :: a(3), b(3), c(3), d(3), e(3), f(3), g(3), h(3), k(3), j
    (3), l(2), w(3), x(3), z, o(3), q(3), r, t(2), &
    Prodmax, po(3), alf, gg(3)
```

```
!Produccion (Prod)  
a(1)=0.04_rp  
a(2)=1  
a(3)=7  
b(1)=0.005_rp  
b(2)=1  
b(3)=12  
gg(1)=0.001_rp  
gg(2)=1  
gg(3)=5
```

```
!Creditos (C_r)
```

```
c(1)=0.2_rp  
c(2)=1  
c(3)=3  
d(1)=0.6_rp  
d(2)=1  
d(3)=4  
e(1)=0.1_rp  
e(2)=1  
e(3)=6
```

```
!Tasa de interes (I)
```

```
f(1)=0.6_rp  
f(2)=1  
f(3)=4  
g(1)=0.01_rp  
g(2)=1  
g(3)=8
```

```
!Inversion (Inv)
```

```
h(1)=0.2_rp  
h(2)=1  
h(3)=6  
k(1)=0.05_rp  
k(2)=1  
k(3)=4  
j(1)=0.3_rp  
j(2)=1  
j(3)=3
```

```

!Sueldos (S)

l(1)=0.6_rp
l(2)=9

!Consumos directos (C_t)

w(1)=0.9_rp
w(2)=1
w(3)=4
x(1)=0.02_rp
x(2)=1
x(3)=6
z=0.65_rp

!Indicador de pagos de cuotas de interes (Pg)

o(1)=0.1_rp
o(2)=1
o(3)=5
q(1)=0.8_rp
q(2)=1
q(3)=4
r=0.8_rp

!Precios (P)

t(1)=6
t(2)=4

!Gastos operacionales (G_o)

alf=70._rp
po(1)=0.8_rp
po(2)=1
po(3)=3

open(unit=90,action="write",file="evol_data.dat",status="replace")
!*****Condiciones iniciales*****!
Prodmax=10000000_rp !Produccion maxima

```

```

C_r(1)=100000_rp
Inv(1)=500000_rp
Ahorro_ini=100000000_rp !Ahorro inicial
I(1)=1._rp
Prod(1)=20000_rp
G_o(1)=Prod(1)*alf
Pg(1)=0.8_rp

D_n(1)=Ahorro_ini*(1._rp+0.25_rp) !Dinero total que tiene la banca

P(1)=125._rp
S(1)=Prod(1)*l(1)*P(1)
C_t(1)=0._rp

V(1)=C_t(1)+C_r(1)+Inv(1)+G_o(1) !Ventas del mes (1)
A_e(1)=V(1)-S(1)-G_o(1) !Ahorro de las empresas en el mes (1)
A_t(1)=S(1)-C_t(1) !Ahorro de los trabajadores en el mes (1)
A_tot(1)=C_r(1)+Inv(1) !Ecuacion general de la evolucion de la
    economia en el mes (1)
Atot_e(1)=0.65_rp*Ahorro_ini+A_e(1) !Ahorro guardado por las
    empresas en los bancos
Atot_t(1)=0.35_rp*Ahorro_ini+A_t(1) !Ahorro guardado por los
    trabajadores en los bancos

call time_t(Inv(1)+C_r(1),tiempocre(1)) !se calcula el plazo de los
    prestamos del mes (1)
Inv_cap(1)= Inv(1)/tiempocre(1) !cuota relacionada a la inversion
    del mes (1)
C_r_cap(1)= C_r(1)/tiempocre(1) !cuota relacionada al credito del
    mes (1)

D_e(1)=0._rp !Dinero emitido por el banco central en el mes (1)
D_c(1)=Inv(1)+C_r(1)+Ahorro_ini*(1._rp+0.25_rp) !Dinero en
    circulacion en el mes (1)

tiempoavan(1)=1 !se utiliza como auxiliar para ir contando cuantas
    cuotas se ha pagado de los prestamos del mes (1)

if(tiempocre(1).eq.0) tiempocre(1)=1 !se utiliza para los prestamos
    que se tengan que pagar de acuerdo a la formula en menos de un
    mes

```

```

write(90, *) 1, S(1),C_t(1),C_r(1),V(1), Inv(1), Atot_e(1), Atot_t
(1), I(1), Prod(1), Pg(1),D_c(1), D_n(1), &
P(1), G_o(1), A_e(1), A_t(1), D_e(1) !se guardan los datos
del mes (1)

!Evolucion
do jj=2, evolti
D_n(jj)=D_n(jj-1)+D_e(jj-1) !se actualiza el dinero total
que tiene la banca

!Se actualizan las variables
call precios(jj)
call evol_prod(jj)
call evol_cr(jj)
call evol_i(jj)
call evol_inv(jj)
call evol_s(jj)
call evol_ct(jj)
call evol_pg(jj)
call evol_go(jj)

Inv_pag(jj)=0._rp
C_r_pag(jj)=0._rp

call time_t(Inv(jj)+C_r(jj),tiempocre(jj)) !se calcula el
plazo de los prestamos del mes (jj)
if(tiempocre(jj).eq.0) tiempocre(jj)=1

Inv_cap(jj)= Inv(jj)/tiempocre(jj) !cuota relacionada a la
inversion del mes (jj)
C_r_cap(jj)= C_r(jj)/tiempocre(jj) !cuota relacionada al
credito del mes (jj)

!Se calcula la cuota total que debe pagar en el mes (jj): seria
la suma de todas las cuotas hasta el mes (jj-1)
do kk=1, jj-1
Inv_pag(jj)=Inv_pag(jj)+Inv_cap(kk)
C_r_pag(jj)=C_r_pag(jj)+C_r_cap(kk)
enddo

V(jj)=C_t(jj)+C_r(jj)+Inv(jj)+G_o(jj) !Ventas del mes (jj)
A_e(jj)=V(jj)-S(jj)-G_o(jj)-Inv_pag(jj)*(1._rp+I(jj)/100)*Pg
(jj) !Ahorro de las empresas en el mes (jj)

```

```

A_t(jj)=S(jj)-C_t(jj)-C_r_pag(jj)*(1._rp+I(jj)/100)*Pg(jj) !
    Ahorro de los trabajadores en el mes (jj)

A_tot(jj)=C_r(jj)+Inv(jj)-(Inv_pag(jj)+C_r_pag(jj))*(1._rp+I
    (jj)/100)*Pg(jj) !Ecuacion general de la evolucion de la
    economia en el mes (jj)
Atot_e(jj)=Atot_e(jj-1)+A_e(jj) !Ahorro guardado por las
    empresas en los bancos
Atot_t(jj)=Atot_t(jj-1)+A_t(jj) !Ahorro guardado por las
    trabajadores en los bancos

D_c(jj)=D_c(jj-1)+Inv(jj)+C_r(jj) !Dinero en circulacion en
    el mes (jj)
D_e(jj)=(Inv_pag(jj)+C_r_pag(jj))*(1._rp+I(jj)/100) !Dinero
    emitido por el banco central en el mes (jj)

tiempoavan(jj)=1 !se utiliza como auxiliar para ir contando
    cuantas cuotas se ha pagado de los prestamos del mes (jj
    )

!Se utiliza para que cuando se haya acabado de pagar un prestamo
, se deje de pagarlo
do kk=1, jj-1
    if(tiempocre(kk).eq.tiempoavan(kk)) then
        C_r_cap(kk)=0._rp
        Inv_cap(kk)=0._rp
        tiempocre(kk)=1
        tiempoavan(kk)=1
    else
        tiempoavan(kk)=tiempoavan(kk)+1
    endif
enddo

write(90, *) jj, S(jj),C_t(jj),C_r(jj),V(jj), Inv(jj), Atot_e(jj),
    Atot_t(jj), I(jj), Prod(jj), Pg(jj),D_c(jj), D_n(jj), &
    P(jj), G_o(jj), A_e(jj), A_t(jj), D_e(jj) !se
    guardan los datos del mes (jj)

enddo

close(unit=90,status="keep")

```

CONTAINS

!Nota: Si no existe aun la variable (independiente), no se toma en cuenta la accion de la misma

!EVOLUCION DE LA PRODUCCION

```
subroutine evol_prod(tt)
  integer, intent (in) :: tt
  real(rp) :: x1,x2, x3

  if((tt-int(a(3))).gt.0) then
    if(Inv(tt-int(a(3))).eq.0) then
      x1=0._rp
    else
      x1=a(1)*((Inv(tt-int(a(2)))-Inv(tt-int(a(3))))/Inv(tt-int(a(3))))
    endif
  else
    x1=0._rp
  endif

  if((tt-int(b(3))).gt.0) then
    if(S(tt-int(b(3))).eq.0) then
      x2=0._rp
    else
      x2=b(1)*((S(tt-int(b(2)))-S(tt-int(b(3))))/S(tt-int(b(3))))
    endif
  else
    x2=0._rp
  endif

  if((tt-int(gg(3))).gt.0) then
    if(G_o(tt-int(gg(3))).eq.0) then
      x3=0._rp
    else
      x3=gg(1)*((G_o(tt-int(gg(2)))-G_o(tt-int(gg(3))))/G_o(tt-int(gg(3))))
    endif
  else

```

```

        x3=0._rp
    endif

    Prod(tt)=Prod(tt-1)*(1._rp+x1+x2+x3)

    if(Prod(tt).lt.0._rp) Prod(tt)=0._rp
    if(Prod(tt).gt.Prodmax) Prod(tt)=Prodmax
end subroutine

!EVOLUCION DEL CREDITO
subroutine evol_cr(tt)
    integer, intent (in) :: tt
    real(rp) :: x1,x2,x3

    if((tt-int(c(3))).gt.0) then
        if(S(tt-int(c(3))).eq.0) then
            x1=0._rp
        else
            x1=c(1)*((S(tt-int(c(2)))-S(tt-int(c(3))))/S
                (tt-int(c(3))))
        endif
    else
        x1=0._rp
    endif

    if((tt-int(d(3))).gt.0) then
        if(P(tt-int(d(3))).eq.0) then
            x2=0._rp
        else
            x2=d(1)*((P(tt-int(d(2)))-P(tt-int(d(3))))/P
                (tt-int(d(3))))
        endif
    else
        x2=0._rp
    endif

    if((tt-int(e(3))).gt.0) then
        if(Atot_t(tt-int(e(3))).eq.0) then
            x3=0._rp
        else
            x3=e(1)*((Atot_t(tt-int(e(2)))-Atot_t(tt-int
                (e(3))))/Atot_t(tt-int(e(3))))
        endif
    endif

```



```

        else
            x3=0._rp
        endif

        C_r(tt)=C_r(tt-1)*(1._rp+x1+x2+x3)

        if(C_r(tt).lt.0._rp) C_r(tt)=0._rp
            if(C_r(tt).gt.(1._rp*D_n(tt))) C_r(tt)=1._rp*D_n(tt)
        end subroutine

!EVOLUCION DEL INTERES
subroutine evol_i(tt)
    integer, intent (in) :: tt
    real(rp) :: x1,x2

    if((tt-int(f(3))).gt.0) then
        if(P(tt-int(f(3))).eq.0) then
            x1=0._rp
        else
            x1=f(1)*((P(tt-int(f(2))))-P(tt-int(f(3))))/P
                (tt-int(f(3))))
        endif
    else
        x1=0._rp
    endif

    if((tt-int(g(3))).gt.0) then
        if(Prod(tt-int(g(3))).eq.0) then
            x2=0._rp
        else
            x2=g(1)*((Prod(tt-int(g(2))))-Prod(tt-int(g
                (3))))/Prod(tt-int(g(3))))
        endif
    else
        x2=0._rp
    endif

    I(tt)=I(tt-1)*(1._rp+x1)+x2

    if(I(tt).lt.0._rp) I(tt)=0._rp
end subroutine

```

!EVOLUCION DE LA INVERSION

```
subroutine evol_inv(tt)
  integer, intent (in) :: tt
  real(rp) :: x1,x2,x3

  if((tt-int(h(3))).gt.0) then
    if((C_r(tt-int(h(3)))+C_t(tt-int(h(3))))).eq.0) then
      x1=0._rp
    else
      x1=h(1)*(((C_r(tt-int(h(2)))+C_t(tt-int(h(2))))-
        (C_r(tt-int(h(3)))+C_t(tt-int(h(3)))))/
        (C_r(tt-int(h(3)))+C_t(tt-int(h(3))))))
    endif
  else
    x1=0._rp
  endif

  if((tt-int(k(3))).gt.0) then
    if(Atot_e(tt-int(k(3))).eq.0) then
      x2=0._rp
    else
      x2=k(1)*((Atot_e(tt-int(k(2)))-Atot_e(tt-int(k(3))))/
        Atot_e(tt-int(k(3))))
    endif
  else
    x2=0._rp
  endif

  if((tt-int(j(3))).gt.0) then
    if(I(tt-int(j(3))).eq.0) then
      x3=-j(1)
    else
      x3=j(1)*((I(tt-int(j(2)))-I(tt-int(j(3))))/
        I(tt-int(j(3))))
    endif
  else
    x3=0._rp
  endif

  Inv(tt)=Inv(tt-1)*(1._rp+x1+x2-x3)

  if(Inv(tt).lt.0) Inv(tt)=0._rp
```

```

        if(Inv(tt).gt.(1._rp*D_n(tt))) Inv(tt)=1._rp*D_n(tt)
end subroutine

!EVOLUCION DE SUELDOS
subroutine evol_s(tt)
    integer, intent (in) :: tt
    real(rp) :: x1,x2
    integer :: ii

    x1=0._rp
    x2=0._rp
    if((tt-int(l(2))).gt.0) then
        do ii=1,int(l(2))
            x1=x1+Prod(tt-ii)
            x2=x2+P(tt-ii)
        enddo
    else
        S(tt)=S(tt-1)
        go to 111
    endif

    S(tt)=l(1)*(x1/l(2))*(x2/l(2))

    111 continue
end subroutine

!EVOLUCION DEL CONSUMO
subroutine evol_ct(tt)
    integer, intent (in) :: tt
    real(rp) :: x1,x2

    if((tt-int(w(3))).gt.0) then
        if(P(tt-int(w(3))).eq.0) then
            x1=0._rp
        else
            x1=w(1)*((P(tt-int(w(2)))-P(tt-int(w(3))))/P
                (tt-int(w(3))))
        endif
    else
        x1=0._rp
    endif

    if((tt-int(x(3))).gt.0) then

```

```

        if(S(tt-int(x(3))).eq.0) then
            x2=0._rp
        else
            x2=x(1)*((S(tt-int(x(2)))-S(tt-int(x(3))))/S
                (tt-int(x(3))))
        endif
    else
        x2=0._rp
    endif

    C_t(tt)=C_t(tt-1)*(1._rp+x1+x2)

    if(C_t(tt).gt.S(tt)) C_t(tt)=S(tt)
    if(C_t(tt).lt.(z*S(tt))) C_t(tt)=z*S(tt)
end subroutine

!EVOLUCION DEL INDICADOR PG
subroutine evol_pg(tt)
    integer, intent (in) :: tt
    real(rp) :: x1,x2

    if((tt-int(o(3))).gt.0) then
        if(P(tt-int(o(3))).eq.0) then
            x1=0._rp
        else
            x1=o(1)*((P(tt-int(o(2)))-P(tt-int(o(3))))/P
                (tt-int(o(3))))
        endif
    else
        x1=0._rp
    endif

    if((tt-int(q(3))).gt.0) then
        if(S(tt-int(q(3))).eq.0) then
            x2=0._rp
        else
            x2=q(1)*((S(tt-int(q(2)))-S(tt-int(q(3))))/S
                (tt-int(q(3))))
        endif
    else
        x2=0._rp
    endif
end subroutine

```

```

Pg(tt)=1._rp-x1+x2-r*(1._rp-Pg(tt-1))

if(Pg(tt).lt.0._rp) Pg(tt)=0._rp
  if(Pg(tt).gt.1._rp) Pg(tt)=1._rp
end subroutine

!EVOLUCION DE LOS PRECIOS
subroutine precios(tt)
  integer, intent (in) :: tt
  real(rp) :: x1,x2
  integer :: ii

  x1=0._rp
  if(mod(tt,int(t(2))).eq.0) then
    do ii=1,int(t(1))
      if((tt-ii).gt.0) then
        x1=x1+Prod(tt-ii)
      endif
    enddo
  else
    P(tt)=P(tt-1)
    go to 111
  endif

  if(x1.eq.0) then
    P(tt)=0._rp
    go to 111
  endif

  if((tt-int(t(1))).gt.0) then
    x2=D_c(tt-1)-D_c(tt-int(t(1)))
  else
    x2=D_c(tt-1)
  endif

  P(tt)=x2*1.0_rp/x1

  111 continue
end subroutine

!EVOLUCION DE LOS GASTOS OPERACIONALES
subroutine evol_go(tt)
  integer, intent (in) :: tt

```

```

real(rp) :: x1

if((tt-int(po(3))).gt.0) then
    if(P(tt-int(po(3))).eq.0) then
        x1=0._rp
    else
        x1=po(1)*((P(tt-int(po(2))))-P(tt-int(po(3))))
            /P(tt-int(po(3)))
    endif
else
    x1=0._rp
endif

G_o(tt)=alf*Prod(tt)*(1._rp+x1)
if(G_o(tt).lt.0._rp) G_o(tt)=0._rp
end subroutine

!TIEMPO DE CREDITO O INVERSION
subroutine time_t(x,t)
    real(rp), intent (in) :: x
    integer, intent (out) :: t
    t=(6.86938_rpb*log((1.0_rpb/10000)*x+1)-0.006_rpb*(1.0_rpb
        /10000)*x)*12
    if(((1.0/10000)*x).ge.1000) t=504
end subroutine

end program

```

Capítulo B

Evolución de las variables durante un periodo de 1000 meses

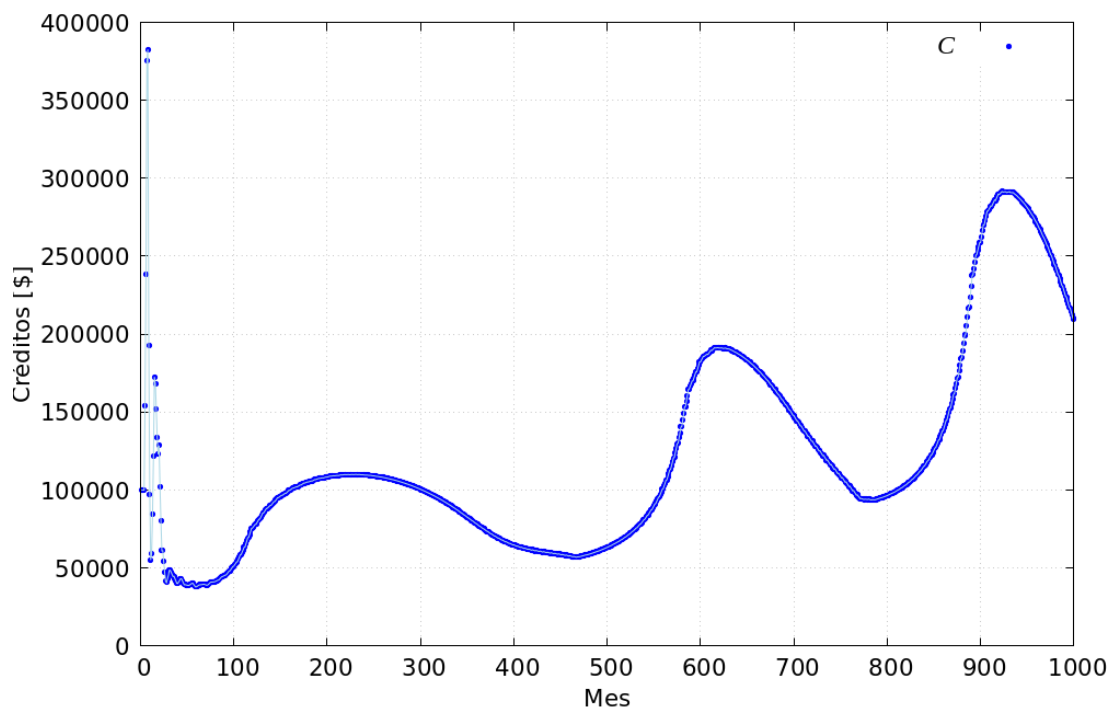


Figura B.1: Evolución de los créditos directos durante un periodo de 1000 meses

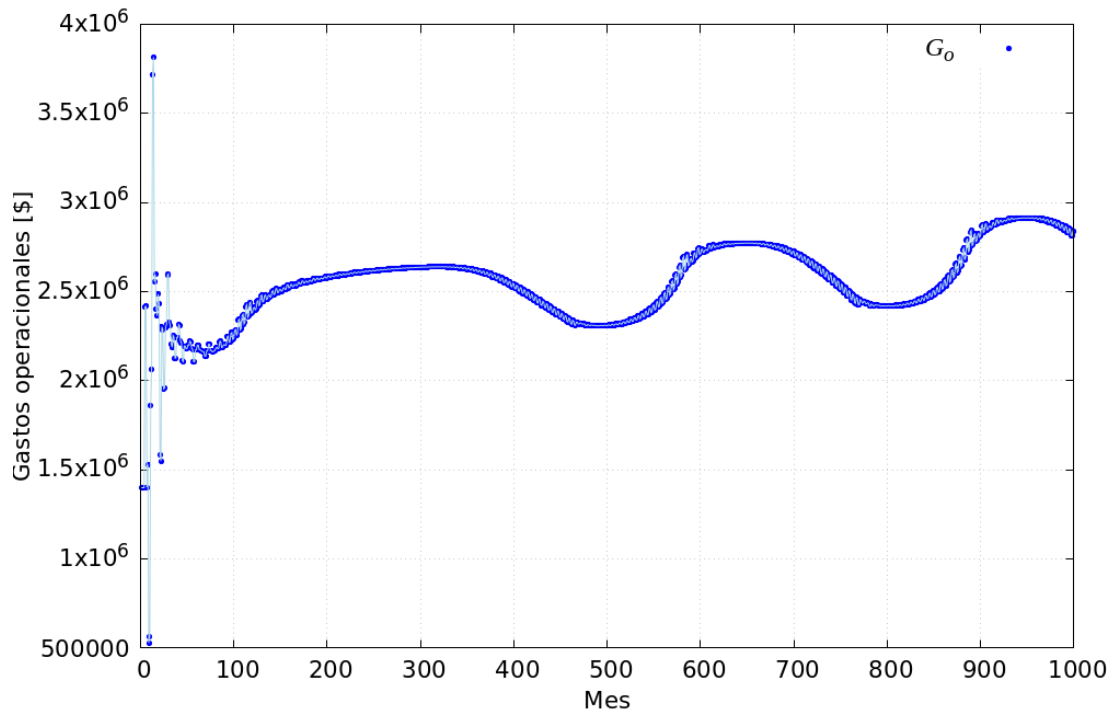


Figura B.2: Evolución de los gastos operacionales durante un periodo de 1000 meses

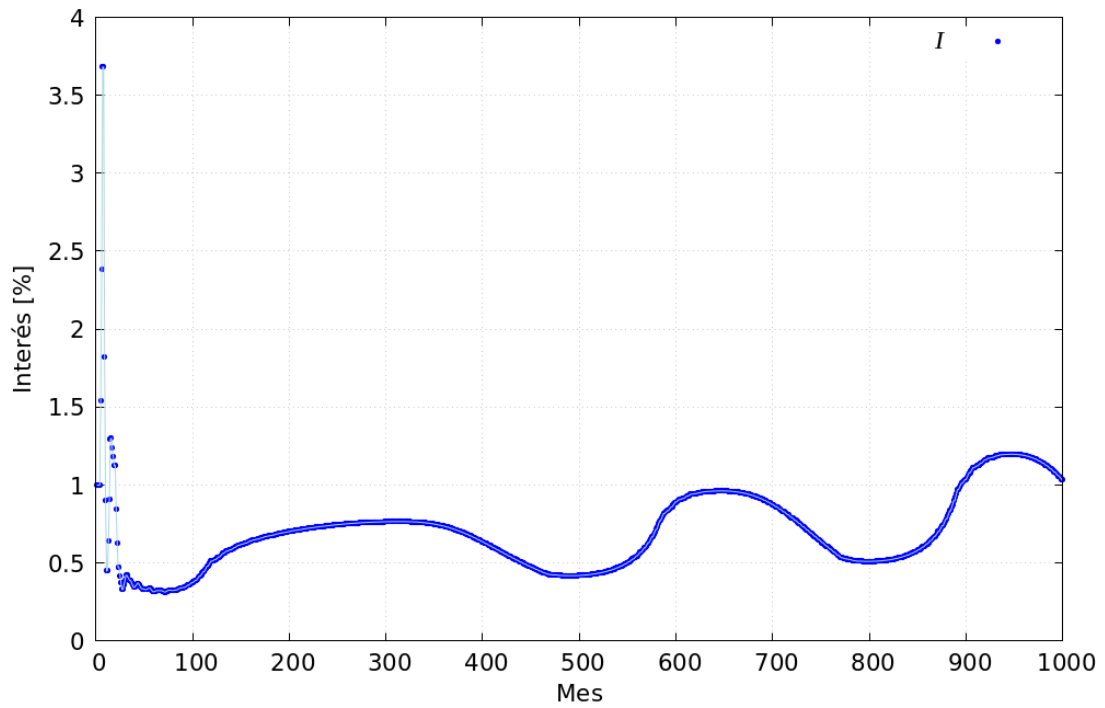


Figura B.3: Evolución de la tasa de interés durante un periodo de 1000 meses

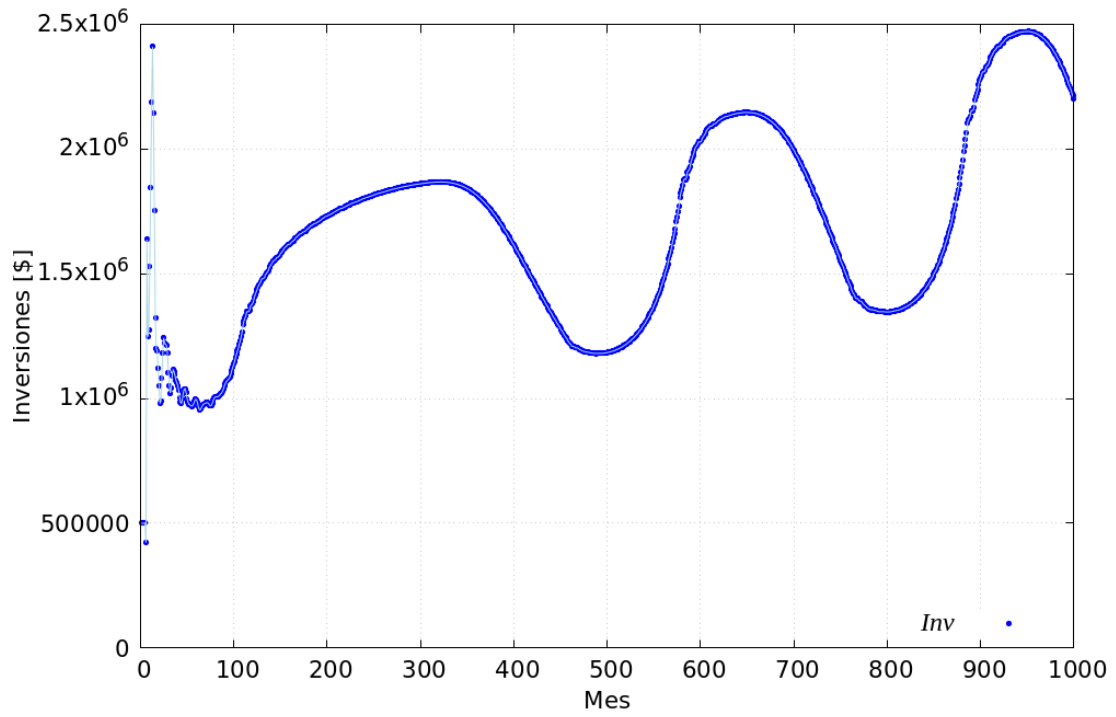


Figura B.4: Evolución de las inversiones durante un periodo de 1000 meses

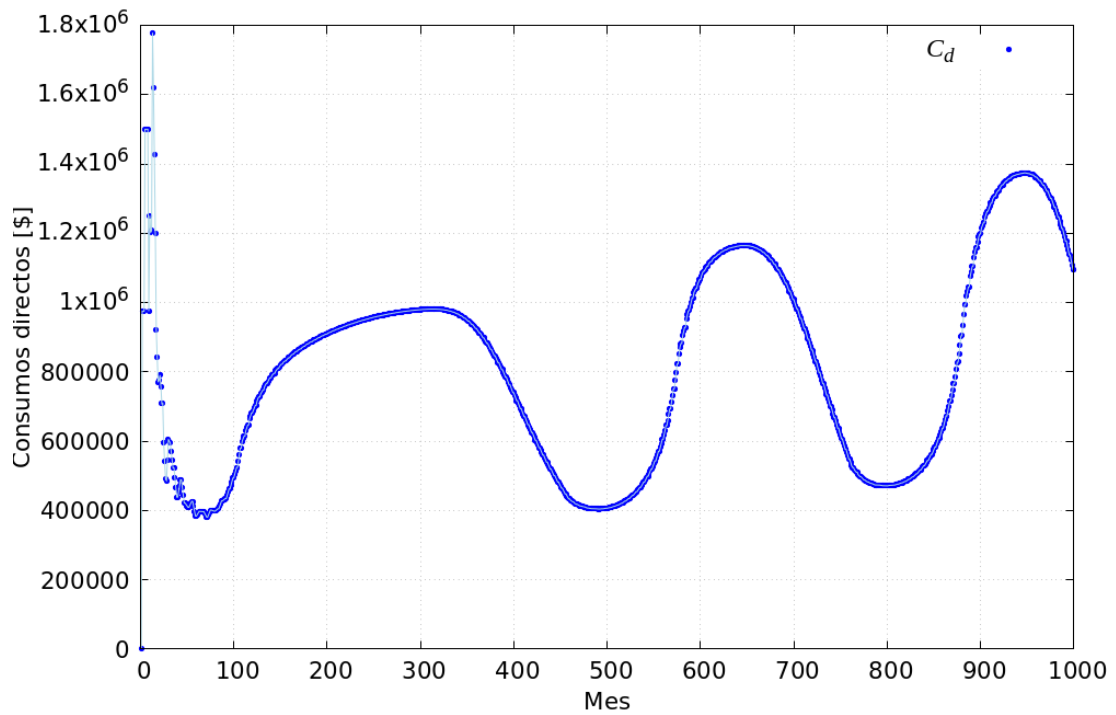


Figura B.5: Evolución de los consumos directos durante un periodo de 1000 meses

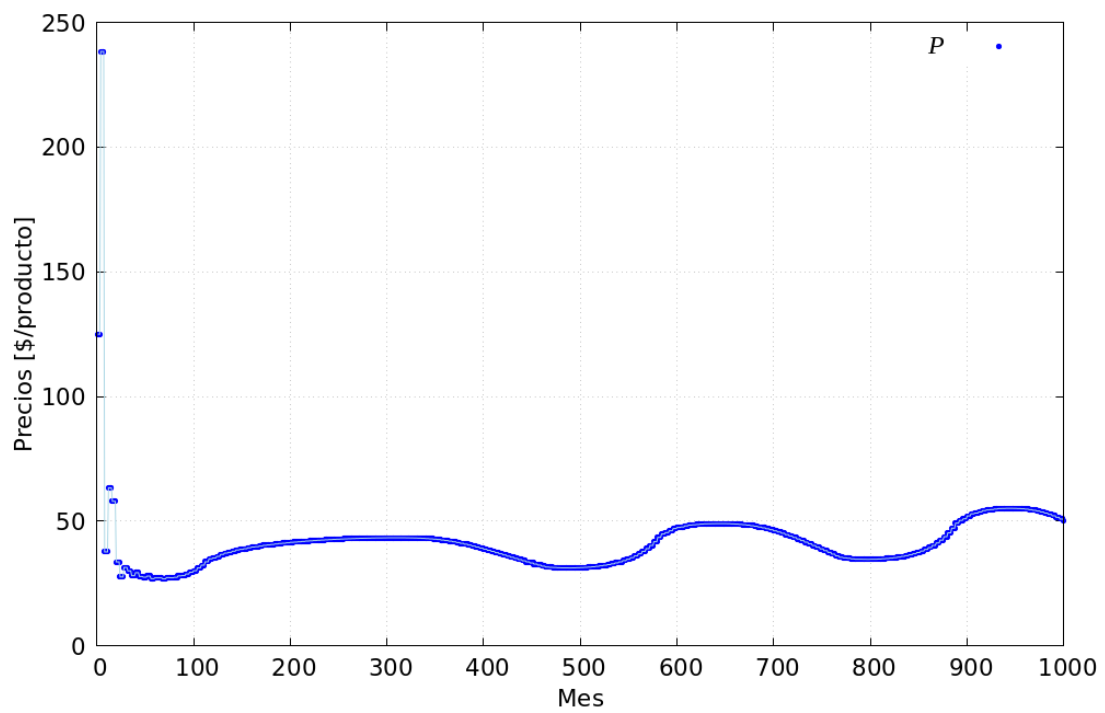


Figura B.6: Evolución de los precios durante un periodo de 1000 meses

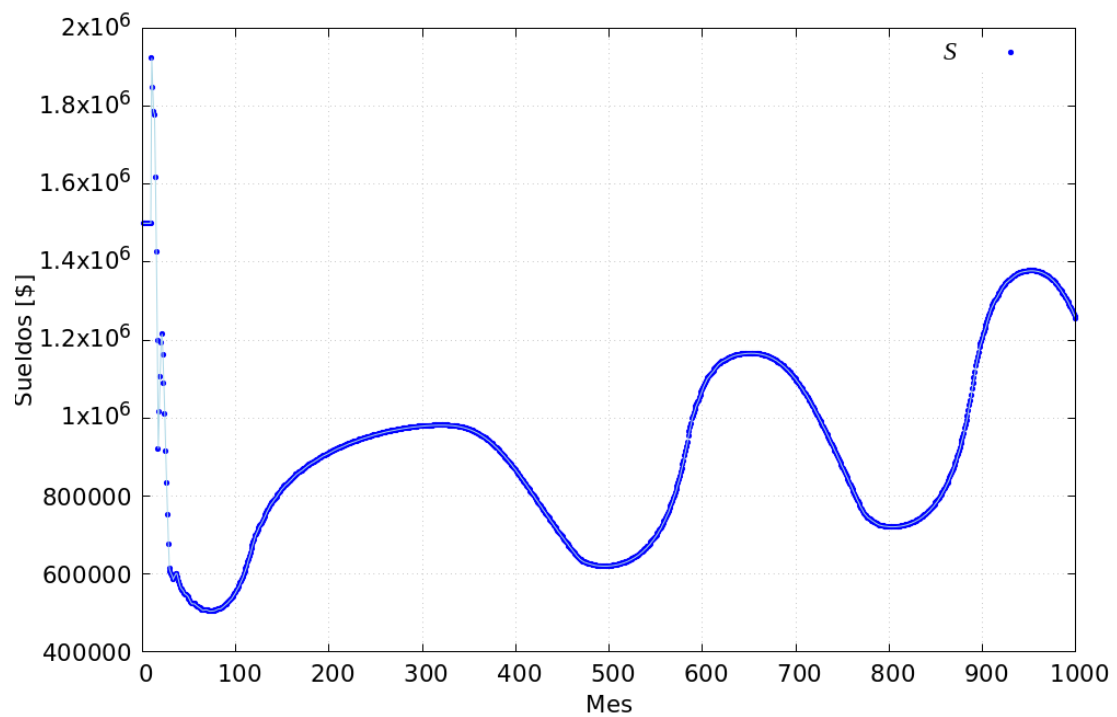


Figura B.7: Evolución de los sueldos durante un periodo de 1000 meses

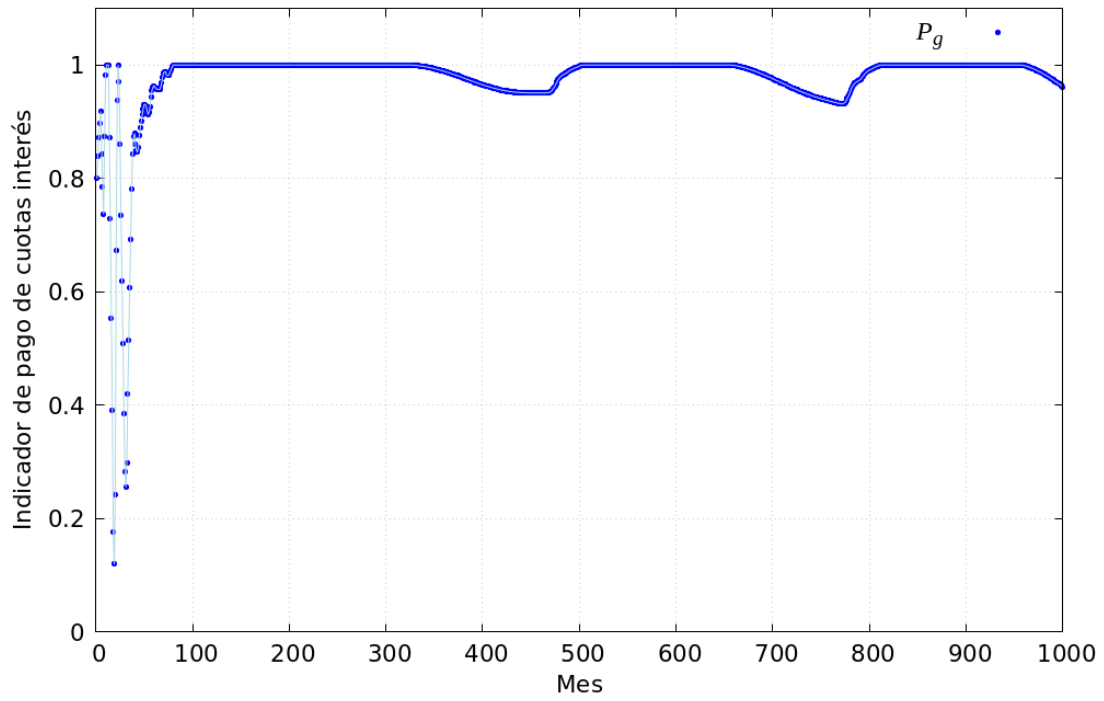


Figura B.8: Evolución del indicador de pago de cuotas de interés durante un periodo de 1000 meses

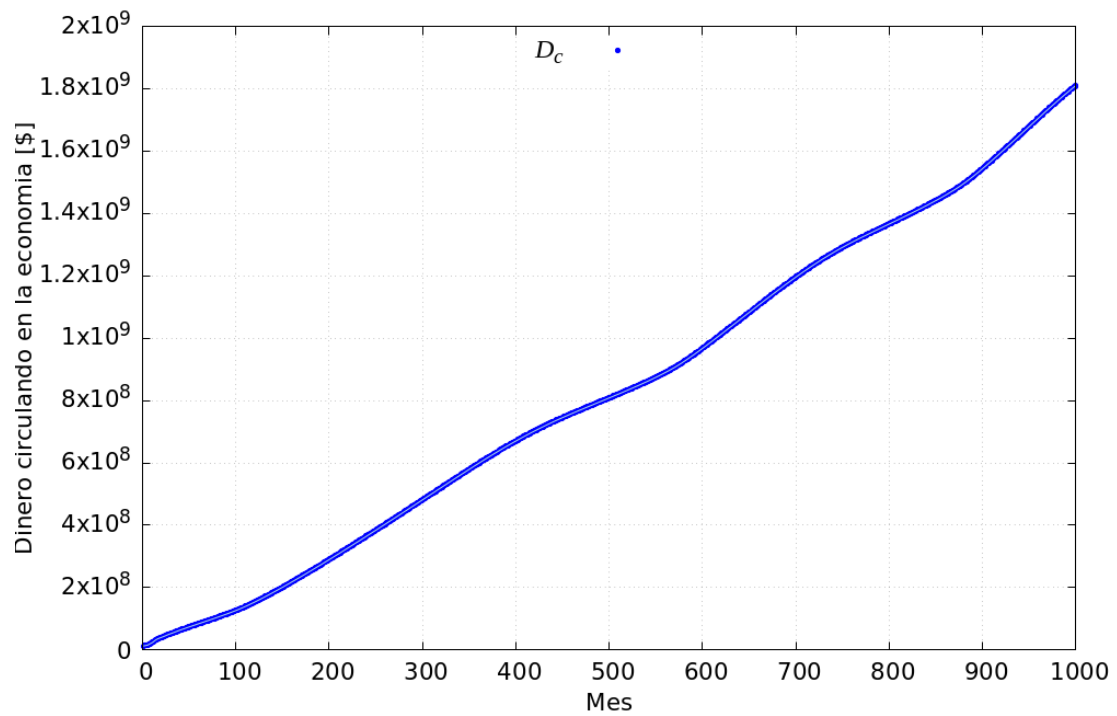


Figura B.9: Evolución del dinero circulando en la economía durante un periodo de 1000 meses

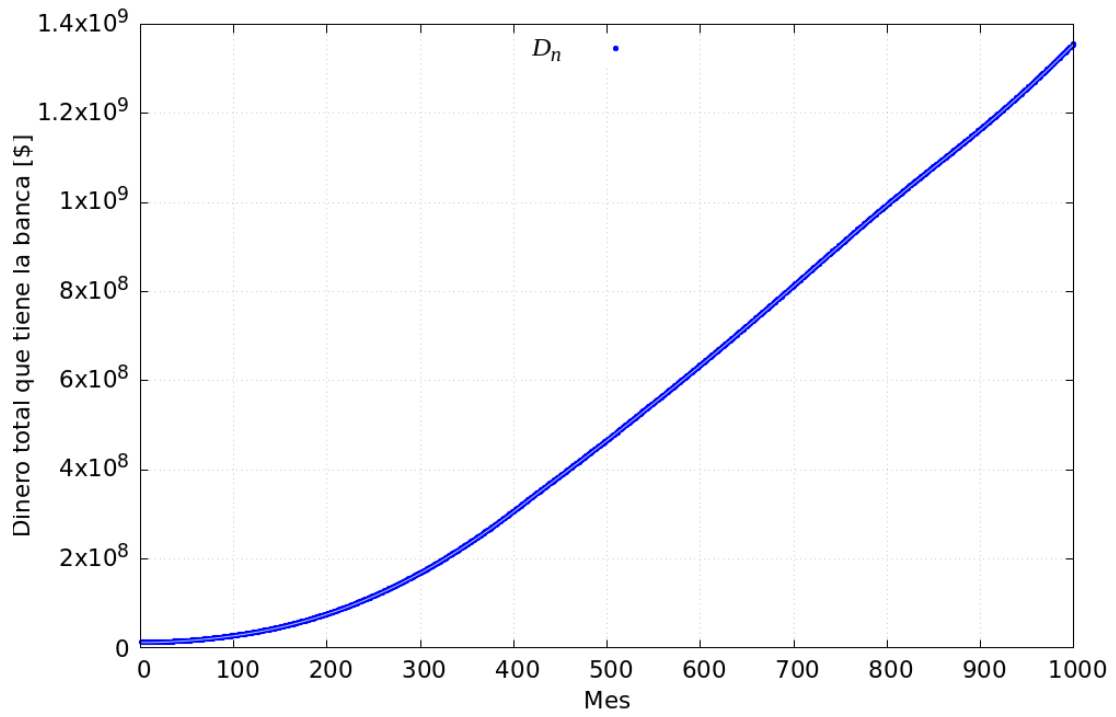


Figura B.10: Evolución del dinero total que tiene la banca durante un periodo de 1000 meses

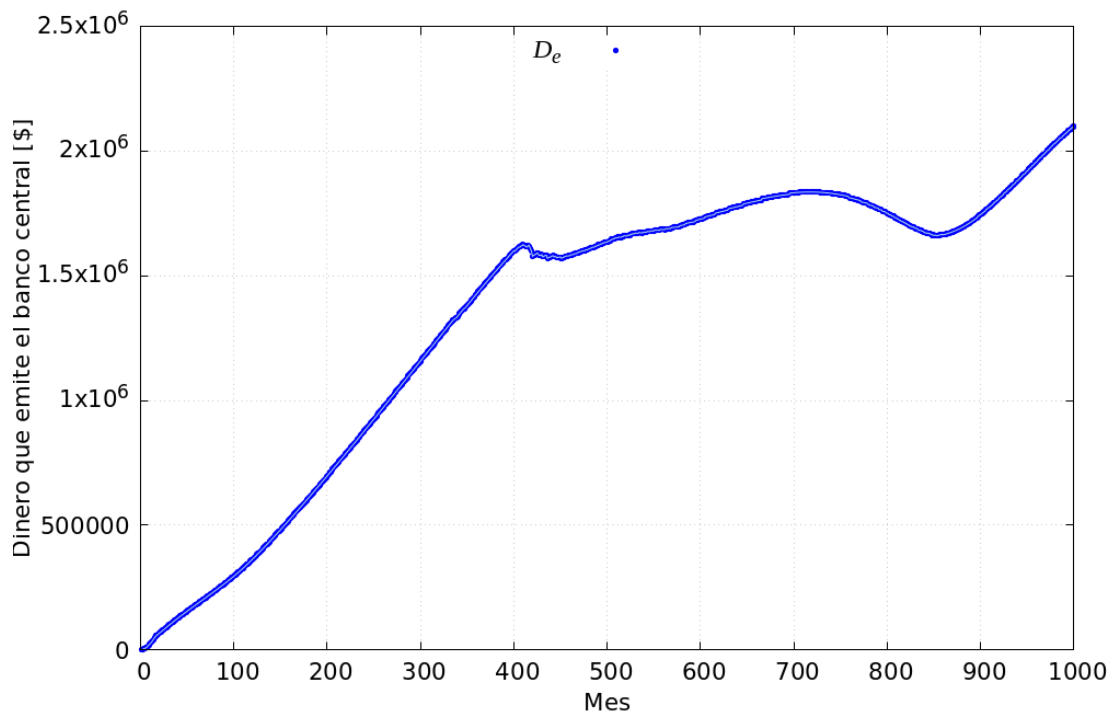


Figura B.11: Evolución del dinero emitido por el banco central durante un periodo de 1000 meses

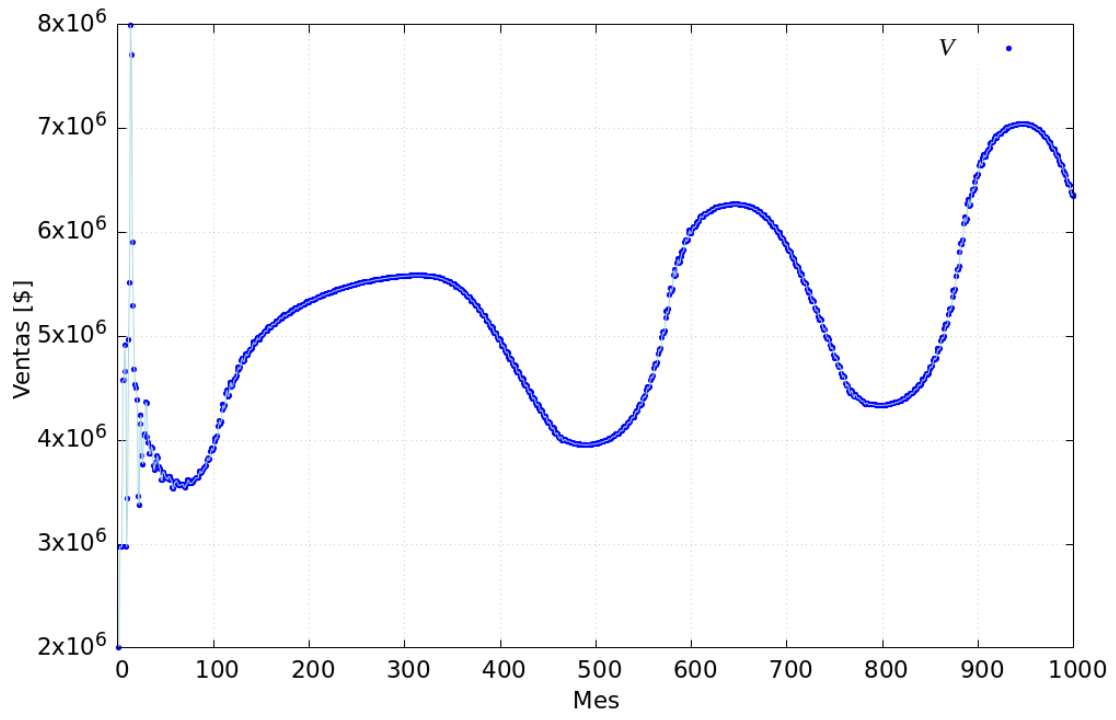


Figura B.12: Evolución de las ventas durante un periodo de 1000 meses

Referencias bibliográficas

- [1] Todd Knoop. *Business Cycle Economics*. Praeger, 2015.
- [2] William Quinn and John Turner. *Boom and Bust*. Cambridge University Press, 2020.
- [3] Solomos Solomou. *Economic Cycles*. Manchester University Press, 1998.
- [4] Lakshman Achuthan and Anirvan Banerji. *Beating the Business Cycle*. Currency Doubleday, 2004.
- [5] Orio Giarini. *Cycles, Value Employment*. Pergamon, 2016.
- [6] Gary Gorton. *Misunderstanding Financial Crises: Why We Don't See Them Coming*. Oxford University Press, 2012.
- [7] Varadarajan Chari and Patrick Kehoe. Hot money. *Journal of Political Economy* 111, 2003.
- [8] Douglas Diamond and Philip Dybvig. Bank runs, deposit insurance, and liquidity. *Journal of Political Economy* 91, 1983.
- [9] Robert Flood and Peter Garber. Collapsing exchange-rate regimes, some linear examples. *Journal of International Economics* 17, 1984.
- [10] Mark Gertler and Nobuhiro Kiyotaki. Financial intermediation and credit policy. In *Handbook of Monetary Economics*. Elsevier, 2011.
- [11] Itay Razin, Assaf Goldstein. Review of theories of financial crises. *2012 Meeting Papers* 214, 2012.

- [12] Maurice Obstfeld. Models of currency crises with self-fulfilling features. *European Economic Review* 40, 1996.
- [13] Enrique Schroth, Gustavo Suarez, and Lucian Taylor. Dynamic debt runs and financial fragility: evidence from the 2007 abcp crisis. *Journal of Financial Economics (JFE)*, 2012.
- [14] Bengt Holmstrom and Jean Tirole. Financial intermediation, loanable funds, and the real sector. *Quarterly Journal of Economics* 112, 1997.
- [15] Per Bak. *How Nature Works: the science of self-organized criticality*. NY: Copernicus New York, 1996.
- [16] T. Börzsönyi and J. Kertész. Kinetic model for the formation of avalanches in sandpiles. *Physical Review E*, 2005.
- [17] Per Bak, Chao Tang, and Kurt Wiesenfeld. Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise. *Physical review letters*, 1987.
- [18] Cevdet Denizer, Murat Iyigun, and Ann L. Owen. Finance and macroeconomic volatility. *Policy research working paper 2487*, 2000.
- [19] Robert O'Neill, Jeff Ralph, and Paul A. Smith. *Inflation. History and Measurement*. Springer, 2017.
- [20] Massimiliano Marcellino, Anindya Banerjee, and Igor Masten. Leading indicators for euro-area inflation and gdp growth. SSRN, 2014.
- [21] Bernard Baumohl. *The Secrets of Economic Indicators*. Ft Press, 2013.