



GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

TRABAJO FIN DE GRADO

Desarrollo incremental de un modelo macroeconómico basado en agentes

Programación de sistemas complejos con NetLogo

25 de agosto de 2020

Autor: Ander Genua Trullos

Profesor/es: Rubén Osuna

Manuel Sánchez

Contenido

1. Resumen / Abstract.....	4
2. Introducción.....	5
3. Desarrollo.....	7
3.1. Proceso de desarrollo.....	7
3.2. Modelo desarrollado.....	8
3.2.1 Interfaz de usuario.....	8
3.2.2 Funcionamiento básico.....	14
3.2.3 Agentes e interacciones.....	15
3.2.4 Variables del modelo.....	24
3.3. Comportamiento del modelo.....	26
4. Conclusiones.....	32
5. Referencias.....	34
6. Bibliografía.....	35
7. Anexo I. Desarrollo del modelo.....	36
7.1. Iteración 0. Preparación del modelo.....	36
7.1.1 Funcionamiento básico del modelo.....	36
7.1.2 Diseño del interfaz de usuario.....	37
7.1.3 Estructura de código y nomenclatura.....	38
7.2. Iteración 1. Mercado de bienes.....	39
7.2.1 Descripción.....	39
7.2.2 Diseño.....	39
7.2.3 Modificaciones al diseño.....	43
7.3. Iteración 2. Mercado de inversión.....	46
7.3.1 Descripción.....	46
7.3.2 Diseño.....	47
7.3.3 Modificaciones al diseño.....	54
7.4. Iteración 3. El gobierno.....	55
7.4.1 Descripción.....	55
7.4.2 Diseño.....	56
7.4.3 Modificaciones al diseño.....	60
7.5. Iteración 4. Mercado monetario.....	61
7.5.1 Descripción.....	61
7.5.2 Diseño.....	62

7.5.3 Modificaciones al diseño.....	68
7.6. Iteración 5. Mercado de trabajo.....	69
7.6.1 Descripción.....	69
7.6.2 Diseño.....	69
7.6.3 Modificaciones al diseño.....	72
8. Anexo II. Términos ingleses usados en el código fuente.....	73
9. Anexo III. Medición del riesgo.....	75
10. DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL TRABAJO CIENTÍFICO, PARA LA DEFENSA DEL TRABAJO FIN DE GRADO.....	77

1. Resumen / Abstract

Resumen

En este trabajo se ha desarrollado un modelo macroeconómico con fines didácticos. Es un modelo basado en agentes y se ha desarrollado de forma incremental.

El modelo cuenta con diferentes tipos de agentes: personas, empresas, bancos, gobierno y banco central. Estos agentes interactúan entre ellos a través de varios mercados con el objetivo de simular una economía. El objetivo de este modelo es ver el comportamiento dinámico de dicha economía en contraste con los modelos estáticos que se han visto durante la carrera.

Abstract

In this project a macroeconomic model for teaching purposes has been developed. The model has been built using agents and developed in incremental iterations.

The model has different agent types: people, companies, banks, government and central bank. These agents interact with each other in several markets to simulate an economy. The goal of this model is to observe the dynamic behaviour of this economy in comparison to the static models that have been seen in class.

2. Introducción

Los modelos basados en agentes surgen de la dificultad de modelar adecuadamente ciertos fenómenos mediante los métodos matemáticos tradicionales. La complejidad de estos fenómenos surge de la interacción de los diferentes elementos que los componen. En estas situaciones los métodos tradicionales solo son capaces de realizar aproximaciones o solo resuelven versiones simplificadas del problema.

La forma de abordar estos problemas mediante los modelos basados en agentes consiste en simular el fenómeno usando para ello agentes software. Los agentes software son programas informáticos que tratan de imitar el comportamiento de los elementos del sistema. En estos modelos los agentes interactúan entre ellos imitando a la realidad de forma que el resultado del conjunto de interacciones entre los agentes se parece más al resultado del fenómeno de la vida real que el que se podría obtener con los métodos tradicionales.

La macroeconomía es una de las áreas que los modelos tradicionales no son capaces de explicar adecuadamente. Los modelos macroeconómicos tradicionales basados en modelos estáticos de equilibrio no son capaces de predecir adecuadamente el comportamiento de la economía. Por ello, a partir de los años 60, con el advenimiento de la informática se comenzaron a simular procesos económicos. Este tipo de modelos fueron creciendo en complejidad con el avance de la informática y ganando notoriedad aunque sin desplazar a los modelos tradicionales. La crisis económica de 2008 provocó que los economistas revaloraran los métodos que tenían de modelar la economía y el consenso general al que se llegó es que los métodos basados en agentes son el mejor método para simular los procesos económicos. Un ejemplo de estos modelos es el modelo EURACE (Holcombe et al., 2013) que modela la economía de la Unión Europea.

En este trabajo se ha desarrollado un un modelo macroeconómico basado en agentes usando para ello la herramienta NetLogo (Wilensky, 1999). NetLogo es un entorno de desarrollo para la programación de modelos basados en agentes para simular fenómenos naturales y sociales. Como herramienta es lo suficientemente sencilla como para que personas sin experiencia puedan desarrollar sus propios modelos y, a la vez, suficientemente potente como para que los investigadores la puedan utilizar en sus trabajos. Esta herramienta está desarrollada por el Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling de la Northwestern University.

65024017 TFG ADE

Programación de sistemas complejos con NetLogo

El modelo que se ha creado tiene fines didácticos ya que no pretende ser una imagen fiel de la realidad, solo una aproximación sencilla. El objetivo es poder ver el comportamiento dinámico de la economía en situaciones similares a las que se han estudiado usando modelos estáticos. También pretende ser un modelo modificable y escalable que pueda ser tomado como base por otros estudiantes para probar sus hipótesis o construir otros modelos.

Los modelos macroeconómicos basados en agentes son complejos de desarrollar y por ello el proyecto se va a llevar a cabo de forma incremental. La forma de trabajo incremental supone comenzar con una solución simple y, mediante iteraciones sucesivas, ir añadiendo complejidad al modelo. Esta forma de trabajo permite validar y ajustar cada uno de los modelos intermedios de forma que la siguiente iteración cuente con una base probada y la experiencia de la construcción del modelo anterior.

3. Desarrollo

3.1. Proceso de desarrollo

En este apartado se van a resumir cuales han sido las iteraciones que se han realizado durante el desarrollo del trabajo. En el Anexo I. Desarrollo del modelo se puede consultar la descripción más detallada y técnica de las etapas del desarrollo.

Como ya se ha dicho, la construcción del modelo se ha dividido en varias iteraciones o etapas. Cada iteración toma como base el resultado de la iteración anterior y le añade una nueva funcionalidad. De esta forma la complejidad del desarrollo del modelo se divide en diferentes etapas que resultan más asequibles que desarrollar el modelo final de forma directa.

Para elegir las iteraciones del modelo se ha tomado como referencia el proceso de construcción del modelo IS-LM que se ha utilizado en varias asignaturas durante el curso. En dicho modelo se parte de un modelo en el que la demanda agregada se compone del consumo al que se le añaden la inversión, el gobierno, el sector exterior, el mercado monetario y el de trabajo.

Las iteraciones que se han realizado han sido las siguientes:

Iteración 0, preparación del modelo. En esta primera iteración se han desarrollado los cimientos sobre los que se va a construir el modelo, no el modelo en sí. Se ha diseñado la interfaz de usuario y se han desarrollado las utilidades que luego se van a utilizar para mostrar información al usuario.

Iteración 1, el mercado de bienes. Se han añadido dos agentes al modelo: las personas y las empresas. Las personas trabajan en las empresas a cambio de un salario y utilizan el dinero recibido en consumir los bienes producidos por las empresas.

Iteración 2, el mercado de inversión. Utilizando los mismos agentes que en la etapa anterior se introduce un nuevo nivel de interacción entre los agentes. Las empresas para producir bienes necesitan empleados y capital. Las empresas obtendrán capital vendiendo acciones a las personas. Las personas ahora ya no dedican todo el salario percibido al consumo, parte del mismo lo dedican al ahorro y a invertir en acciones de las empresas.

Iteración 3, el gobierno. Se ha introducido un nuevo agente: el gobierno. El gobierno obtiene dinero de los impuestos a la renta de las personas, a los beneficios empresariales y al consumo. El dinero recaudado lo dedica a pagar una renta a las personas desempleadas y contrata funcionarios cuyo trabajo es incrementar el nivel tecnológico de la economía.

Iteración 4, el mercado monetario. Se han incorporado dos nuevos agentes al modelo: los bancos y el banco central. En esta iteración las empresas además de poder obtener capital en forma de acciones pueden recurrir al endeudamiento en forma de bonos. Por otro lado, el gobierno, en el caso de tener déficit, podrá endeudarse emitiendo bonos igual que las empresas. Los bancos harán negocio comprando estos bonos y cobrando sus intereses asociados. Para financiarse los bancos pueden emitir acciones o pueden pedir prestado dinero al banco central. El objetivo del banco central es el de mantener la inflación dentro de un margen, para ello controla la cantidad de dinero que hay en la economía mediante los préstamos que hace a la banca.

Iteración 5, el mercado de trabajo. Por último se ha añadido una nueva interacción entre las personas y los agentes que les dan trabajo: empresas, bancos y gobierno. Hasta ahora el mercado de trabajo no era competitivo por lo que se ha modificado el comportamiento de los agentes para que lo sea. Ahora las personas buscan los empleos mejor remunerados y pueden abandonar su trabajo si no está suficientemente remunerado. Las empresas y bancos intentan contratar empleados que cobren lo menos posible y a la hora de despedirlos tienen en cuenta cuanto cobran. El gobierno paga un salario real fijo a todos sus empleados por lo que adapta el salario nominal al nivel de precios.

3.2. Modelo desarrollado

En este apartado se describe el modelo resultante después de las cinco iteraciones que se han realizado durante el desarrollo.

3.2.1 Interfaz de usuario

Al diseñar la interfaz de usuario se ha intentado que sea lo más amigable posible con el usuario. Se a puesto el foco en que el usuario sea capaz de extraer mucha información de la misma de forma sencilla y accesible.

Lo primero que destaca es que la interfaz de usuario está en inglés. Se ha tomado la decisión de hacerlo en este idioma por dos motivos. Por un lado, por similitud con los modelos de referencia proporcionados por el equipo docente. Por otro lado, porque el

modelo se va a subir a la página Creative Commons¹ en la que usuarios de todo el mundo comparten sus modelos y haciéndolo en inglés será más accesible que en otros idiomas. Hubiera sido interesante poder tener la interfaz de usuario traducida a diferentes idiomas pero NetLogo no tiene soporte para la internacionalización.

Para manejar el modelo hay tres botones en vez de los dos habituales en los modelos de NetLogo. Los botones habituales "Setup" y "Go" inicializarán el mundo y ejecutarán la simulación respectivamente. Además, habrá un botón "Show Info" que cuando esté pulsado permitirá al usuario interactuar con el modelo sin que avance el tiempo en la simulación.



Figura 1: Botones del modelo

En la parte derecha de la pantalla se encuentra el mundo en el que se va a ejecutar la simulación. El mundo está dividido en parcelas cuadradas en las que se ubican los agentes, cada uno en su parcela. La forma del mundo es cuadrada en vez de cilíndrica o toroidal ya que se ajusta mejor a la distribución geográfica de los agentes en el mundo real. El tamaño del mundo se ha elegido como un compromiso entre la necesidad de maximizar el número de agentes para que sea un modelo macroeconómico realista y el hecho de que el usuario debe poder visualizarlo e interactuar con él de forma sencilla. Teniendo en consideración dichos requisitos el mundo tiene 65 parcelas de ancho y alto.

Cuando están pulsados los botones de "Go" o "Show Info" el usuario puede interactuar con el mundo. Haciendo clic en las diferentes parcelas podrá seleccionarlas y ver información del agente que está en dicha parcela. Entre la información que se puede ver está la siguiente:

- En el mundo se pinta el área de interacción del agente.
- Se muestran las relaciones que tiene el agente con otros agentes mediante líneas. Las relaciones que se muestran se pueden activar o desactivar con los interruptores que hay en la parte inferior derecha.

1 <http://modelingcommons.org>

- En el control de salida que hay a la derecha se muestran las variables más relevantes del agente.

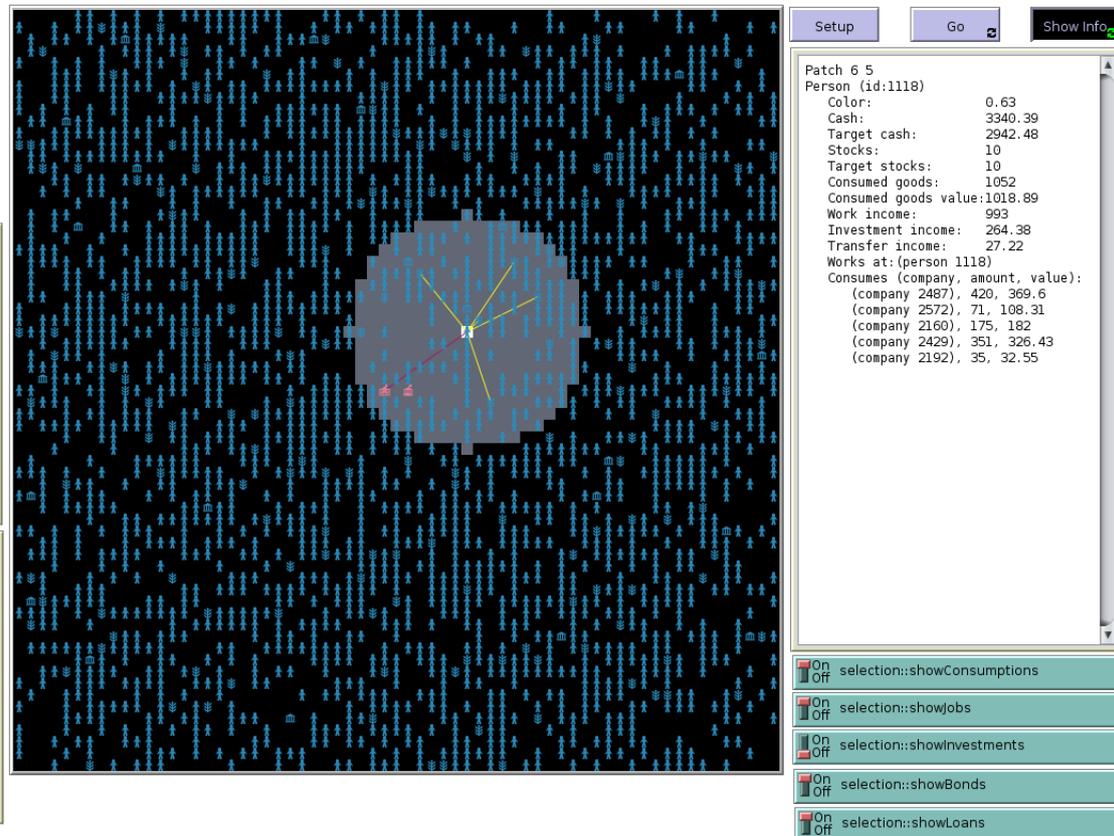


Figura 2: El mundo con un agente seleccionado

En la parte superior izquierda de la pantalla se encuentran los controles de clasificación de agentes. Cuando están pulsados los botones “Go” o “Show Info” permite ver los distintos valores que tiene una variable en los distintos individuos de la simulación. Los agentes que se pueden clasificar son las personas, las empresas y los bancos. El gobierno y el banco central no se pueden clasificar ya que solo existe un individuo de cada uno. Cada uno de los tipos de agente tiene un selector en el que se permite elegir la variable por la que se va a clasificar dicho tipo de agente. Al seleccionar una variable se mostrará lo siguiente:

- Debajo del selector se muestra un histograma con la distribución de valores de la variable.

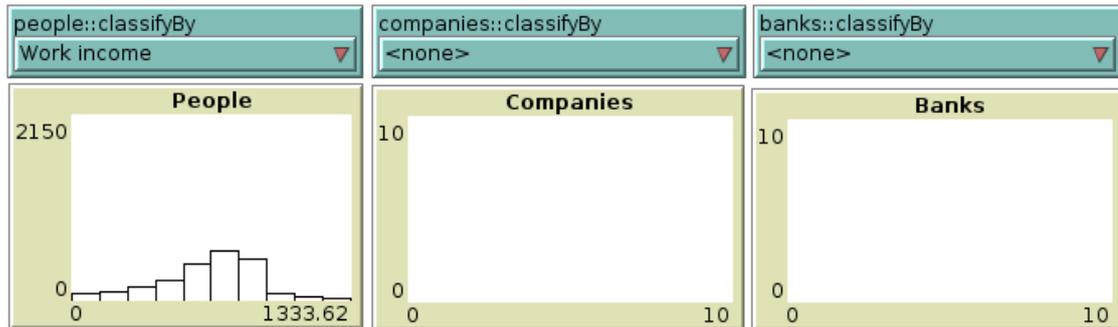


Figura 3: Clasificación de agentes

- En el mundo los agentes se colorean con un gradiente de colores que va desde el rojo para los agentes con el menor valor para la variable al verde para los agentes con mayor valor.

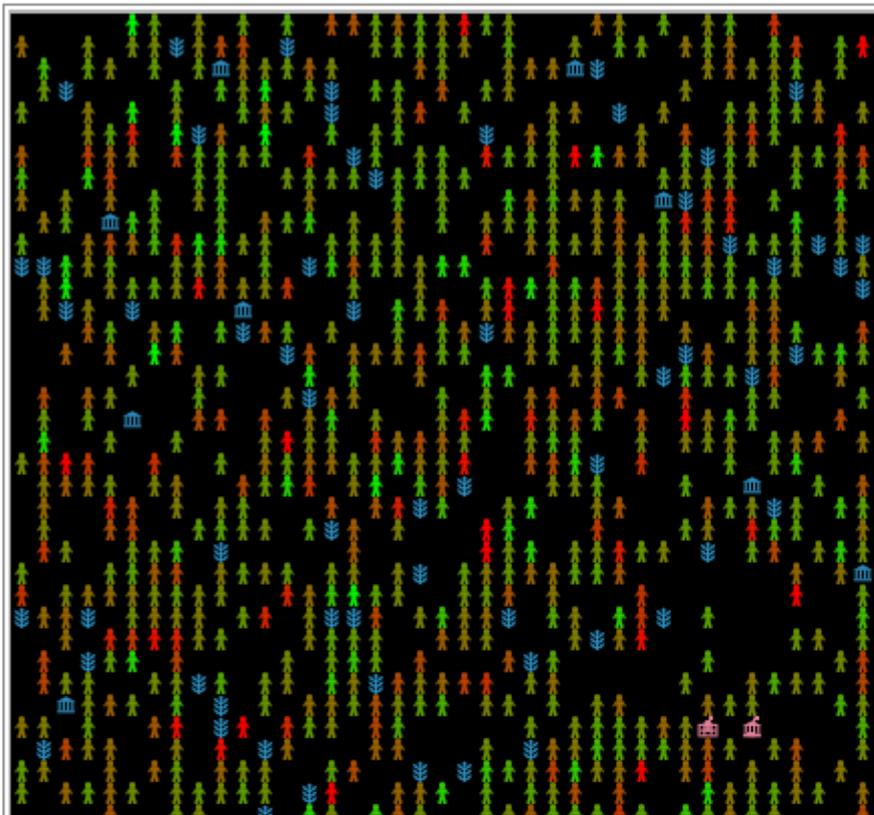


Figura 4: Agentes clasificados

En la parte inferior derecha de la pantalla se encuentran las gráficas que muestran las series temporales de las variables más relevantes del modelo.

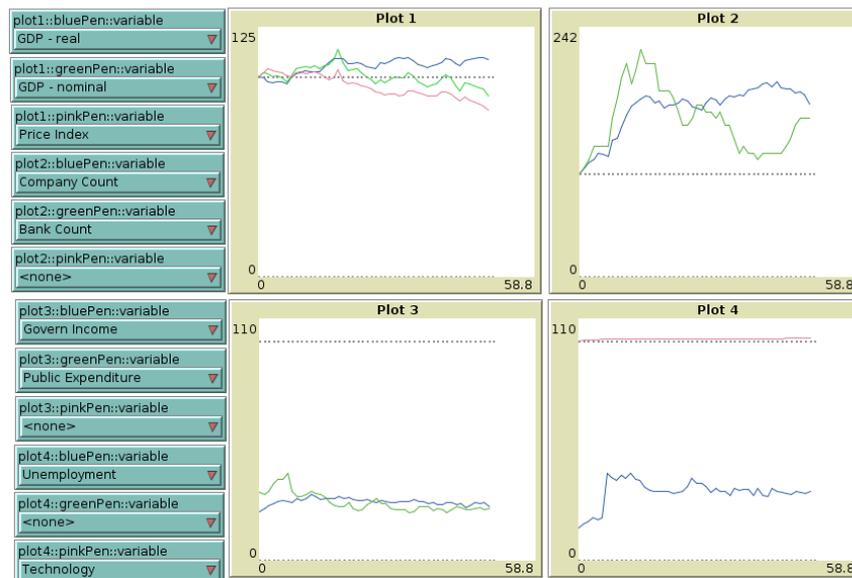


Figura 5: Gráficas temporales

Como se puede ver en la Figura 5 hay cuatro gráficas en las que visualizar las series temporales. Como hay más de 30 variables no resulta práctico mostrar todas a la vez, sobre todo porque en un momento dado el usuario solo tendrá interés en un conjunto reducido de variables. Por este motivo los datos que se muestran en las gráficas es configurable y limitado a tres series por gráfica. Los datos a mostrar se pueden elegir mediante los selectores que están en la parte izquierda. De esta forma el usuario puede elegir qué datos mostrar en cada momento para ver solo aquellos que le interesen. Además, puede ir alternando los valores que se muestran cambiando los selectores. A pesar de que las gráficas son visibles en cualquier momento para poder alternar los valores que se muestran en las gráficas es necesario que esté pulsado el botón de “Go” o el de “Show Info”.

Por último, en la parte superior central está el selector de eventos. Con este selector se puede provocar un shock externo en la economía. Al hacerlo se cambia alguna de las variables del modelo y sirve para observar cuál es la reacción de la economía a dicho cambio. Para facilitar el análisis de las consecuencias del evento el momento en el que ha ocurrido el evento se marcará en las gráficas temporales mediante una línea vertical roja.



Figura 6: Interfaz de usuario

Como se ha podido apreciar la interfaz de usuario solo sirve para visualizar el comportamiento del modelo pero no se puede cambiar salvo para provocar eventos que alteren temporalmente la economía. El modelo tiene muchas variables mediante las cuales se controla su comportamiento, permitir modificarlas desde la interfaz de usuario implicaría añadir muchos controles a una interfaz bastante sobrecargada de ellos. Por ello se ha elegido que la forma de modificar el comportamiento sea desde la solapa de "Código". Para que sea fácil alterar el funcionamiento del modelo a pesar de que implique modificar el código, se han agrupado al comienzo del fuente las asignaciones de los valores de las variables que controlan el modelo. De esta forma se puede controlar el comportamiento del modelo de forma centralizada y sencilla como se puede ver en la Figura 7.

```

; Initialize world parameters
set world::ticksPerMonth 30 ; Number of ticks in a month
set world::interactionRadius 10 ; Maximum distance at which agents interact
set world::governInteractionRadius 25 ; Maximum distance at which people interact
set world::initialPeopleCount 2150 ; Initial number of people
set world::initialCompanyCount 100 ; Initial number of companies
set world::initialBankCount 15 ; Initial number of banks
set world::initialMoneyForPeople 16501250 ; Initial amount of money assigned to people
set world::initialMoneyForGovernment 2750000 ; Initial amount of money assigned to government
set world::initialMoneyForLoans 4000000 ; Initial amount of money that banks have
set world::salary 50 ; Amount of money paid by the government
set world::salaryIncrease 0.5 ; Amount that offered salaries increase per tick
set world::unemploymentBenefit 35 ; Amount of money paid by the government to unemployed people
set world::stockPrice 500 ; Amount of money that each stock is worth
set world::technology 60 ; Companies' efficiency to produce goods
set world::technologyImprovementPerGovernmentWorker 0.0000001 ; Efficiency increase per tick
set world::minCapital 500 ; Minimum amount of capital a company needs
set world::CapitalToWorkRatio 5000 ; Most efficient amount of capital a company needs
set world::bondsPerWorker 75 ; Number of bonds a bank works with
set world::baseConsumption 35 ; Minimum amount of goods that people need
set world::peopleReservesTargetTicks 90 ; Amount of ticks that the people need to save
set world::companyReservesTargetTicks 45 ; Amount of ticks that the companies need to save
set world::governReservesTargetTicks 30 ; Amount of ticks that the government needs to save
set world::bankReservesTargetTicks 45 ; Amount of ticks that the banks need to save
set world::corporationTax 0.20 ; Corporation tax rate
set world::incomeTax 0.10 ; Income tax rate
set world::consumptionTax 0.12 ; Consumption tax rate
set world::bondTerm 180 ; Time elapsed from the acquisition of a bond
set world::bondFaceValue 500 ; Face value of each bond. All bonds have the same face value
set world::defaultCoupon 1.2 ; Initial value for bond coupons
set world::couponIncrease 0.02 ; Amount that bond coupons will increase per tick
set world::loanTerm 180 ; Time elapsed from the acquisition of a loan
set world::loanFaceValue 500 ; Face value of each loan. All loans have the same face value
set world::centralBankPolicyMaturity 90 ; Amount of ticks that are required to reach the target
set world::monthlyInflationTarget 0.02 ; Monthly inflation rate that the central bank wants to reach
set world::centralBankPolicyFactor 0.05 ; Indicates how much will vary the interest rate

```

Figura 7: Variables del modelo

3.2.2 Funcionamiento básico

El modelo tiene un mundo en el que hay agentes de varios tipos que representan las diferentes entidades económicas del mundo real: personas, empresas, bancos, gobierno y banco central. Los agentes se distribuyen por el mundo de forma aleatoria en el mundo ocupando cada uno de ellos una parcela y no pudiendo haber más de un agente en una misma parcela. Los agentes permanecen inmóviles en sus parcelas durante la simulación aunque en determinadas circunstancias pueden cambiar de parcela. Los agentes interactúan entre ellos a través de los diferentes mercados que se simulan: bienes, monetario, etc. Cada mercado define sus propias reglas de interacción entre los agentes.

Al ser una simulación macroeconómica el número de agentes que debe intervenir en la economía debe ser grande para que las decisiones individuales de un agente no tengan efecto por si solas en el agregado de la economía. Los únicos agentes que deberían tener capacidad para afectar al agregado deberían ser el gobierno y el banco central.

La simulación se ejecuta usando ticks en vez de hacerlo de forma continua, de esta forma podemos usarlos como unidad de tiempo de referencia en el modelo. Por conveniencia, al intervalo de 30 ticks lo denominaremos mes. En cada tick los agentes realizan acciones operativas en su interacción en los mercados. Al final de cada mes los agentes realizan acciones que tengan periodicidad mensual. Mensualmente, pero cada agente el el tick del mes que le corresponda, los agentes realizan acciones estratégicas acerca de la forma que tienen de interactuar con los mercados.

Los agentes toman las decisiones de forma no determinista, es decir, dadas unas circunstancias las decisiones tienen una probabilidad de ocurrir.

3.2.3 Agentes e interacciones

En el modelo que se ha desarrollado hay cinco tipos de agentes que interactúan entre ellos en esta economía simulada. A continuación se describen cada uno de los agentes y su comportamiento.

Personas. Las personas son agentes que trabajan a cambio de dinero y utilizan el dinero para consumir e invertir.

Inicialmente el dinero que tienen lo dedican a consumir una cantidad básica de bienes. Una vez satisfecho el consumo básico con los ingresos que tienen intentan mantener un nivel de ahorro que les asegure que pueden consumir dicha cantidad básica de bienes durante 3 meses. Con los ingresos sobrantes, en función de la preferencia de cada agente, las personas podrán consumir más o ahorrar dinero con el objetivo de invertirlo en acciones de alguna empresa o banco.

Las personas solo pueden comprar bienes en aquellas empresas que estén dentro de su radio de acción. A la hora de elegir la empresa en la que comprar los bienes las personas se fijarán en el precio y en un factor de afinidad entre las personas y las empresas al que hemos llamado "color". Cuanto más se parezcan los colores de la persona y la empresa serán más afines y la persona estará dispuesta a pagar más dinero por el bien de dicha empresa. Una vez clasificadas las empresas en función de ambos factores las personas comprarán los bienes en la empresa mejor clasificada. Si la empresa no tuviera stock suficiente para satisfacer a la persona, la persona comprará lo que pueda en dicha empresa e intentará comprar lo pendiente en la siguiente empresa de la clasificación y así sucesivamente.

La principal fuente de ingresos de las personas es el trabajo. Las personas trabajan en las empresas, bancos y gobierno a cambio de un salario. A la hora de buscar trabajo las personas solo pueden hacerlo en aquellos agentes que estén dentro de su radio de

acción. Entre los agentes que ofrecen trabajo dentro de su radio de acción las personas elegirán trabajar en aquel que ofrezca un mayor salario. Por otro lado, los trabajadores interactúan con las personas en su vecindario y comparan su salario con el de sus vecinos, si descubren que su salario es menor pueden decidir dejar su trabajo para buscar otro mejor remunerado. En caso de estar desempleadas las personas perciben una renta de desempleo del gobierno que les permite realizar el consumo básico.

La otra fuente de ingresos de las personas son los dividendos percibidos por las acciones que poseen. Como ya se ha dicho, las personas pueden dedicar parte de los ingresos a la compra de acciones de empresas y bancos. El mercado de acciones no está limitado al radio de acción y las personas pueden comprar acciones de cualquier agente que las ofrezca en el mundo. El criterio para comprar acciones será el beneficio previsto de la acción para el siguiente mes. Las personas que posean acciones periódicamente comprobarán si en el mercado hay acciones con mayor beneficio previsto y, si las hay, venderán sus acciones menos rentables y comprarán otras nuevas. En caso de necesitar dinero las personas podrán vender sus acciones a la empresa que las emitió. Mientras las personas tengan acciones tendrán derecho a percibir la parte del beneficio de la empresa que les corresponda en forma de dividendo.

En el caso de que las personas se encuentren en una parcela del mundo en la que no tienen trabajo o no exista suficiente oferta de bienes como para satisfacer las necesidades de consumo podrán tomar la decisión de mudarse a otra parcela del mundo. Si el problema es que no tiene trabajo pero tienen algo de dinero ahorrado otra decisión que podrán tomar será la de crear una empresa o banco, el agente que lo haga se convertirá en accionista y empleado.

Empresas. Las empresas se encargan de producir los bienes que necesitan las personas para consumir. Para producir los bienes las empresas necesitan trabajadores y capital.

Las empresas periódicamente revisarán la demanda que tienen de bienes y la compararán con su producción. En función del resultado de dicha comparación establecerán el precio de venta de los bienes y la cantidad de bienes a producir durante el siguiente periodo. La cantidad de bienes producida dependerá del número de trabajadores, el capital de la empresa y el nivel tecnológico. La función de producción será una función de tipo Cobb-Douglas ya que favorece un aumento equilibrado de los factores de producción:

$$P = \begin{cases} 0 & \text{si } N < 1 \\ A \cdot (N - 0,1)^{0,5} \cdot \left(\frac{K}{5000}\right)^{0,5} & \end{cases}$$

Siendo:

- P Número de bienes producidos.
- A Nivel tecnológico.
- N Número de trabajadores de la empresa.
- K Cantidad de capital (activos no corrientes) que tiene la empresa.

Para conseguir trabajadores las empresas crean vacantes y ofrecen un salario. Inicialmente el salario ofertado será inferior al último salario pagado por la empresa y se va incrementando conforme pasa el tiempo sin cubrir la vacante.

Para conseguir capital la empresa puede emitir acciones o bonos. Cada empresa tendrá un ratio de deuda objetivo que intentará mantener con las emisiones de capital y deuda.

Las acciones son el instrumento que tienen las empresas para obtener capital incrementando su patrimonio neto. Es la única forma que tienen las empresas de incrementar el patrimonio neto ya que los beneficios siempre se distribuyen en forma de dividendo. Las acciones se emiten por su valor nominal y se venderán por su valor contable. Las acciones no tienen vencimiento y la única manera de reducir el número de acciones de una empresa es a iniciativa del accionista. Cuando un accionista venda una acción, la empresa se la comprará y la amortizará.

Los bonos son el instrumento de deuda que tiene la empresa para obtener capital. Se emiten por su valor nominal y pagan un cupón diario. Al vencimiento la empresa debe devolver el nominal. Los bonos de las empresas los compran los bancos en función del riesgo de la empresa y del cupón ofrecido. El riesgo de la empresa se calcula mensualmente en función de su beneficio. El cupón ofrecido por la empresa inicialmente es menor que el cupón del último bono emitido y se va incrementando hasta vender el bono. El riesgo de la empresa se calcula de la siguiente forma, la justificación de la fórmula se puede encontrar en el Anexo III. Medición del riesgo:

$$R = \begin{cases} e^{-\frac{B}{I}} + 1 & \text{si } \frac{B}{I} \geq -2 \\ e^2 + 1 & * \end{cases}$$

Siendo:

- R Riesgo: Siendo 1 el valor sin riesgo y 8,39 el riesgo máximo.
- I Interés mensual ofrecido por la empresa a los bono
- B Beneficio de la empresa

El numero de empresas en el mundo es variable. Inicialmente se crea una cantidad predeterminada de empresas. A estas empresas se le pueden añadir nuevas empresas si las personas las crean durante la simulación. Las empresas también pueden desaparecer si son incapaces de hacer frente al pago de sus obligaciones.

El balance y la cuenta de resultados de las empresas del modelo es el siguiente:

Balance de situación			
Activo		Patrimonio neto y pasivo	
(1)	Activo no corriente	Capital Social	(4)
(2)	Existencias	Resultados anteriores	(5)
(3)	Efectivo	Deudas	(6)

1. Activo no corriente. Capital dedicado a la producción de bienes. Al no haber bienes de capital en el modelo son activos líquidos que se pueden transformar en efectivo a voluntad. Esto es importante cuando hay que devolver bonos o comprar acciones propias.
2. Existencias. Valor de los bienes producidos y no vendidos. Los bienes están valorados a precio de coste y usando el precio medio ponderado.
3. Efectivo. Dinero líquido que tiene la empresa para hacer frente a los salarios y cupones. La empresa siempre se marca como objetivo tener suficiente efectivo como para poder atender los pagos de un mes y medio.
4. Capital Social. Valor nominal de las acciones emitidas.
5. Resultados anteriores. Valor acumulado de los resultados anteriores de la empresa. En caso de ser positivo la empresa repartirá un dividendo para dejarlo a cero.
6. Deudas. Valor nominal de los bonos emitidos.

Cuenta de Pérdidas y Ganancias	
Ventas	(1)
Variación de existencias	(2)
Gastos de personal	(3)
Resultado de explotación	(4)
Gastos financieros	(5)
Resultado financiero	(6)
Resultado antes de impuestos	(7)
Impuesto sobre beneficios	(8)
Resultado	(9)

1. Ventas. Valor bruto de las ventas realizadas por la empresa en el mes.
2. Variación de existencias. Variación en el valor de la cuenta de existencias.
3. Gastos de personal. Importe pagado a los empleados en concepto de salarios.
4. Resultado de explotación. $(1) + (2) - (3)$
5. Gastos financieros. Cupones pagados por los bonos emitidos.
6. Resultado financiero. $-(5)$
7. Resultado antes de impuestos. $(4) + (6)$
8. Impuesto sobre beneficios. Si el resultado antes de impuestos es mayor que cero se calculará multiplicándolo por el tipo del impuesto al beneficio de las empresas.
9. Resultado. $(7) - (8)$

Bancos. Los bancos se dedican a prestar dinero a las empresas y al gobierno a cambio del cobro de intereses.

La cantidad de dinero que puede prestar un banco está limitada por su cantidad de trabajadores y la cantidad de dinero que tenga.

Cada trabajador del banco puede gestionar un número limitado de bonos por lo que para comprar más bonos es necesario contratar más personal. Para conseguir trabajadores los bancos crean vacantes y ofrecen un salario. Inicialmente el salario ofertado será inferior al último salario pagado por el banco y se va incrementando conforme pasa el tiempo sin cubrir la vacante. En caso de que no haya suficiente

oferta de bonos el banco podrá despedir trabajadores para ajustar la plantilla al número de bonos que posee.

Para prestar dinero a las empresas los bancos primero deben captar dinero. Eso lo pueden hacer de dos formas: emitiendo acciones o tomando prestado dinero del banco central. Cada banco tendrá un ratio de deuda objetivo que intentará mantener con las emisiones de capital y deuda.

Las acciones son el instrumento que tienen los bancos para obtener capital incrementando su patrimonio neto. Es la única forma que tienen los bancos de incrementar el patrimonio neto ya que los beneficios siempre se distribuyen en forma de dividendo. Las acciones se emiten por su valor nominal y se venderán por su valor contable. Las acciones no tienen vencimiento y la única manera de reducir el número de acciones de un banco es a iniciativa del accionista. Cuando un accionista venda una acción, el banco se la comprará y la amortizará.

Para obtener dinero prestado del banco central el banco tiene que esperar a que el banco central ofrezca dinero y pedirlo prestado en dicho momento. Los préstamos del banco central son a interés cero por lo que no suponen un coste para el banco.

Con el dinero obtenido los bancos prestan el dinero a las empresas y al gobierno. El criterio para comprar bonos de un agente u otro es el cupón ofrecido y el nivel de riesgo del agente. El banco tiene un nivel de riesgo objetivo que tratará de mantener para evitar quebrar por impagos. El nivel de riesgo del banco se calculará como la media ponderada de los riesgos de los agentes cuyos bonos posea. Al seleccionar los bonos a comprar el banco adquirirá aquel bono que ofrezca un mayor cupón permitiéndole mantener un nivel de riesgo igual o inferior al objetivo.

El número de bancos en el mundo es variable. Inicialmente se crea una cantidad predeterminada de bancos. A estos bancos se le pueden añadir nuevos bancos si las personas los crean durante la simulación. Los bancos también pueden desaparecer si son incapaces de hacer frente al pago de sus obligaciones.

El balance y la cuenta de resultados de los bancos del modelo es el siguiente:

Balance de situación			
Activo		Patrimonio neto y pasivo	
(1)	Activo no corriente	Capital Social	(3)
(2)	Efectivo	Resultados anteriores	(4)
		Deudas	(5)

1. Activo no corriente. Valor nominal de los bonos adquiridos.
2. Efectivo. Dinero líquido que tiene el banco para hacer frente a los salarios y los vencimientos de deuda. El banco siempre se marca como objetivo tener suficiente efectivo como para poder atender los pagos de un mes y medio.
3. Capital Social. Valor nominal de las acciones emitidas.
4. Resultados anteriores. Valor acumulado de los resultados anteriores de la empresa. En caso de ser positivo la empresa repartirá un dividendo para dejarlo a cero.
5. Deudas. Valor de los préstamos recibidos del banco central.

Cuenta de Pérdidas y Ganancias	
Gastos de personal	(1)
Resultado de explotación	(2)
Ingresos financieros	(3)
Gastos financieros	(4)
Resultado financiero	(5)
Resultado antes de impuestos	(6)
Impuesto sobre beneficios	(7)
Resultado	(8)

1. Gastos de personal. Importe pagado a los empleados en concepto de salarios.
2. Resultado de explotación: - (1)
3. Ingresos financieros. Cupones recibidos por los bonos que posee en cartera.
4. Gastos financieros. Valor de los bonos cuyo importe no ha sido devuelto por las empresas.
5. Resultado financiero. (3) - (4)
6. Resultado antes de impuestos. (2) + (5)
7. Impuesto sobre beneficios. Si el resultado antes de impuestos es mayor que cero se calculará multiplicándolo por el tipo del impuesto al beneficio de las empresas.
8. Resultado. (6) - (7)

Gobierno. En el mundo solo habrá un agente de este tipo. Este agente tiene dos objetivos: redistribuir la riqueza entre las personas garantizando unos ingresos mínimos e invertir en el desarrollo de la economía.

Con el objetivo de redistribuir la riqueza el gobierno pagará una renta de desempleo a todas aquellas personas que no lo tengan. Con esta renta se pretende garantizar que todas las personas puedan satisfacer al sus necesidades básicas de consumo. La renta será constante en términos reales, es decir, el valor percibido por la persona se actualizará mensualmente con el índice de precios.

Para desarrollar la economía el gobierno contratará funcionarios. Los funcionarios incrementarán el nivel tecnológico del mundo haciendo que las empresas sean más eficientes produciendo bienes. Este comportamiento es coherente con el de un gobierno real en áreas como: educación, sanidad, inversiones en infraestructuras, seguridad, etc. Todas ellas tienen externalidades positivas que afectan a la producción de las empresas. El gobierno no competirá en el mercado de trabajo, ofrecerá siempre el mismo salario en términos reales. Es decir, el salario ofrecido por el gobierno se actualizará con el índice de precios. El área de interacción del gobierno para contratar trabajadores es mayor que el de las empresas y bancos porque de otra forma no puede contratar a todos los funcionarios que requiere.

Para financiar dichas actividades el gobierno tiene tres impuestos con los que generar recursos:

1. Impuesto a la renta de las personas. Este impuesto grava las rentas del trabajo y del capital de las personas. Se paga inmediatamente cada vez que se le paga una renta a la persona.
2. Impuesto al beneficio de las empresas. Este impuesto grava los beneficios obtenidos por las empresas y bancos. Este impuesto se paga mensualmente y solo cuando las empresas o bancos tienen beneficios. Si no los tienen no pagan el impuesto pero tampoco generan derechos para deducir las pérdidas en ejercicios posteriores. En esta economía los dividendos estarán sujetos a doble tributación, tributarán como beneficio de la empresa y como renta del la persona.
3. Impuesto al consumo. Este impuesto grava el consumo de bienes por parte de las personas. Se paga inmediatamente cada vez que se produce un consumo.

Si el gobierno tiene más ingresos que gastos, para evitar acumular dinero más allá de un nivel prudencial, contratará nuevos funcionarios.

En caso de que el gobierno tenga más gastos que ingresos podrá despedir funcionarios o emitir bonos de deuda para cubrir el déficit. Los bonos del gobierno son iguales que los de las empresas, tienen un vencimiento y hay que pagar periódicamente un cupón al banco que lo ha adquirido. Los bonos del gobierno se consideran activos sin riesgo porque su cobro está asegurado. En caso de que el gobierno tenga problemas financieros y no pueda hacer frente a sus pagos de deuda el banco central lo rescatará garantizando el cobro a los acreedores.

Banco central. En el mundo solo habrá un agente de este tipo. En esta economía el banco central tiene por objetivo mantener la inflación mensual en torno al 2%. Para lograrlo puede variar la cantidad de dinero que hay en la economía. Para ello puede aplicar una política monetaria expansiva que incremente la inflación o una restrictiva que la reduzca.

La cantidad de dinero en la economía viene dada por dos conceptos. Por un lado, hay una cantidad de dinero fija que se reparte inicialmente entre el gobierno y las personas. Por otro lado, hay una parte variable que gestiona el banco central.

El banco central modifica la cantidad de dinero que hay en la economía a través de los préstamos que hace a los bancos. En cada tick el banco central pone a disposición de los bancos una cantidad de dinero para que la tomen prestado y a su vez lo presten a las empresas. Para aplicar una política expansiva el banco central debe ofrecer una cantidad de dinero superior al valor de los préstamos que vencen. Para hacer una política restrictiva, la cantidad de dinero ofrecida debe ser inferior.

En la siguiente tabla se pueden ver de forma matricial las relaciones entre los distintos agentes:

	Persona	Empresa	Banco	Gobierno
Empresa	Acciones Empleo Consumo			
Banco	Acciones Empleo	Bonos		
Gobierno	Empleo Impuestos Renta Desempleo	Impuestos	Bonos Impuestos	
Banco central	-	-	Préstamos	Rescate

3.2.4 Variables del modelo

A continuación se describen las variables cuya evolución se puede visualizar en las gráficas:

- Número de empresas y Número de bancos (Company Count y Bank Count). Muestran el número de agentes de cada tipo como un índice de base 100 en el primer mes.
- PIB real y PIB nominal (GDP - nominal y GDP – real). El PIB es el valor a precios de mercado de los bienes y servicios finales producidos en la economía, en términos brutos y durante un periodo de tiempo. Éste se puede calcular por tres métodos: el de la oferta, el del gasto y el de la renta. En el modelo se podría calcular de cualquiera de las tres formas ya que tenemos información de todas las operaciones que ocurren en la economía pero por sencillez se calculará por el método de la oferta. En el modelo el periodo de tiempo que consideraremos para el cálculo será un mes y no consideraremos la depreciación de los bienes de capital ya que en esta economía no existen. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes. El PIB se calculará a precios corrientes (PIB nominal) y a precios constantes (PIB real).
- Nivel de precios (Price Index). De acuerdo con las definiciones de Blanchard (2012) hay dos tipos de índices que se pueden calcular para medir el nivel de precios: por un lado, el deflactor del PIB que es el precio medio de los bienes finales producidos en la economía y, por otro lado, el índice de precios al consumo que es el precio medio de los bienes consumidos. En la economía

que estamos modelando en la que se produce un único bien, no hay bienes intermedios y no hay sector exterior ambos coinciden. Este nivel de precios se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.

- Rentas del trabajo nominales y reales (Compensation of Employees - Nominal y Compensation of Employees - Real). Es uno de los sumandos que se utilizan en el cálculo del PIB por el método de los ingresos y representa los salarios brutos percibidos por los trabajadores. Se calculará a precios corrientes y constantes y se expresará como un índice basado en el PIB del primer mes.
- Rentas del capital nominales y reales (Gross Operating Surplus - Nominal y Gross Operating Surplus - Real). Es uno de los sumandos que se utilizan en el cálculo del PIB por el método de los ingresos y representa las rentas del capital. En nuestra economía dichas rentas son los dividendos repartidos por empresas y bancos. Se calculará a precios corrientes y constantes y se expresará como un índice basado en el PIB del primer mes.
- Consumo nominal y real (Consumption - nominal y Consumption - real). Es uno de los sumandos que se utilizan en el cálculo del PIB por el método del gasto y representa el consumo final. En nuestra economía es el consumo de las personas. Se calculará a precios corrientes y constantes y se expresará como un índice basado en el PIB del primer mes.
- Inversión nominal y real (Investment - nominal y Investment - real). Es uno de los sumandos que se utilizan en el cálculo del PIB por el método del gasto y representa la inversión o formación bruta de capital. En nuestra economía es la cantidad de dinero que destinan las empresas como activos no corrientes (activos productivos). Se calculará a precios corrientes y constantes y se expresará como un índice basado en el PIB del primer mes.
- Tecnología (Technology). Indica el nivel tecnológico de la economía y se utiliza en la función de producción de las empresas. Conforme la tecnología avanza se pueden producir más bienes usando la misma cantidad de factores de producción. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Bienes producidos (Goods Produced). Cantidad de bienes producidos en el mes. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.

- Bienes vendidos (Goods Sold). Cantidad de bienes vendidos en el mes. La variable se expresará como un índice tomando como base los bienes producidos en el primer mes.
- Precio máximo, mínimo y medio al que se han vendido bienes en el último mes (Goods Maximum price, Goods Minimum price y Goods Average price). Las variables se expresarán como un índice de base 100 en el precio medio del primer mes.
- Desempleo (Unemployment). Indica el porcentaje de desempleo que tiene actualmente la economía.
- Salario máximo, mínimo y medio de las personas (Salaries Maximum, Salaries Minimum y Salaries Average). Las variables se expresarán como un índice de base 100 en el salario de los funcionarios en el primer mes.
- Ingresos del gobierno: totales, por el impuesto a la renta de los trabajadores, por el impuesto al beneficio de las empresas y por impuesto al consumo (Govern Income, Govern Income Tax Income, Govern Corporation Tax Income y Govern Consumption Tax Income). Se muestran usando como un índice tomando como base el PIB del primer mes.
- Gastos del gobierno: totales, por salarios, por renta de desempleo y financieros (Public Expenditure, Govern Salaries, Govern Unemployment Benefit Expenses y Govern Financial Expenses). Se muestran usando como un índice tomando como base el PIB del primer mes.
- Cantidad de dinero en la economía y cantidad de dinero objetivo en la economía (M1 y M1 Target). Muestran la cantidad de dinero que hay en la economía y la cantidad de dinero que el banco central quiere que haya en la economía. A la variable se le ha denominado M1 porque, al haber solo efectivo, la cantidad de dinero de la economía se corresponde con el agregado monetario M1. Se muestran como índices de base 100 tomando como base la cantidad de dinero que hay en la economía el primer mes.

3.3. Comportamiento del modelo

Para analizar el comportamiento de los modelos que se han ido desarrollando se ha tomado como referencia un periodo de 50 meses (1.500 ticks) para darle tiempo a la economía a alcanzar una situación estable.

El modelo final que se ha configurado cuenta inicialmente con 2267 agentes: 2150 personas, 100 empresas, 15 bancos, un gobierno y un banco central. Como se puede ver en la Figura 8 el comportamiento que muestra esta economía es bastante estable con ligeras oscilaciones. Se puede ver como el PIB real va creciendo lentamente y el desempleo se mantiene estable.

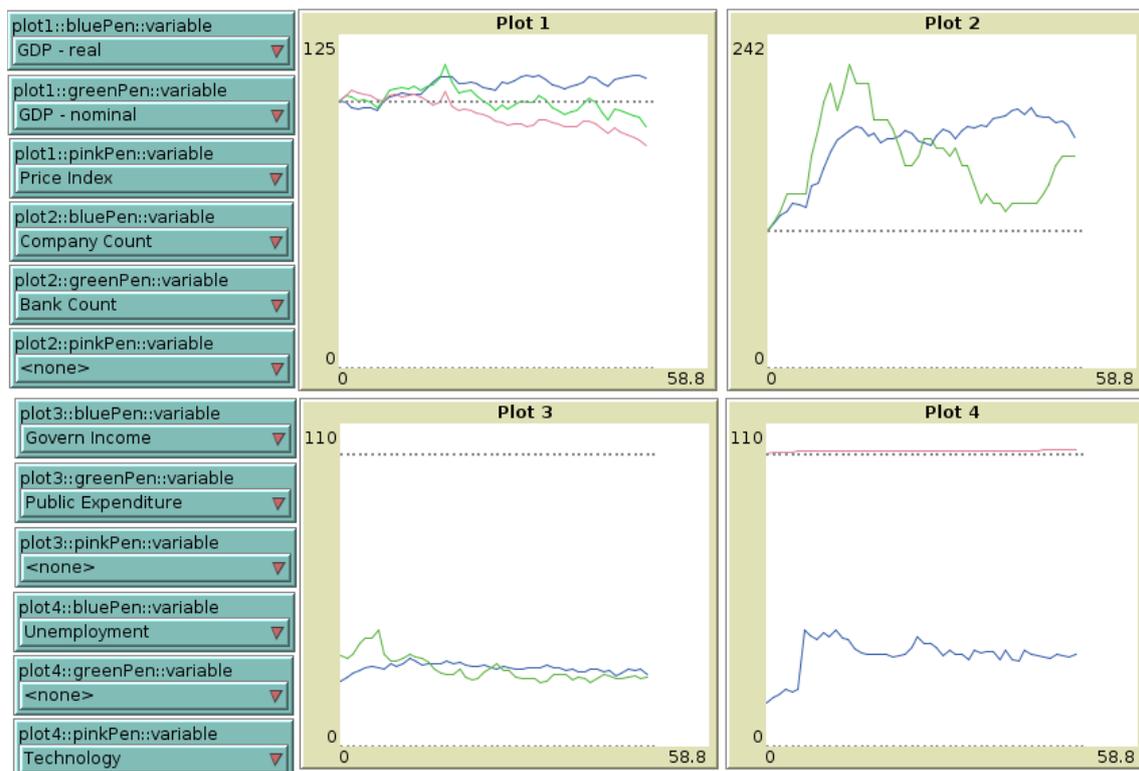


Figura 8: Ejecución de la última versión

Analizando más en detalle el comportamiento se puede apreciar que debido a que la tasa de desempleo es alta los salarios tienen una tendencia decreciente. Estos salarios decrecientes hacen bajar los costes de las empresas y provocan que el nivel de precios baje.

Otro comportamiento que se puede observar aquí y que se ha observado desde la iteración 2, en la que se introdujo el capital como factor de producción, es que la tasa de desempleo de equilibrio del modelo es bastante alta. Esta tasa de desempleo se debe a la proporción entre los factores de producción que utilizan las empresas, proporcionalmente tienden a acumular más capital de lo que sería óptimo para maximizar la producción. Ocurre algo similar también desde la iteración 3 en la que se introdujeron los bonos como forma de financiación, las empresas tienden a tener una mayor proporción de acciones frente a bonos de lo que deberían. Estos desequilibrios

tienen una lógica, las empresas que tienen una mayor proporción de acciones frente a bonos y trabajadores soportan unos costes menores y eso repercute positivamente en su supervivencia. Sin embargo, resulta inesperado ya que todas las empresas están programadas para tender a una situación de equilibrio entre los factores.

Además del modelo final, durante el desarrollo del proyecto se han ejecutado muchos modelos con uno con varias configuraciones diferentes. Como resultado de esas ejecuciones se han podido observar multitud de comportamientos diferentes, algunos previsible por ajustarse a las predicciones de los modelos estáticos pero otros inesperados. A continuación se mostrarán algunas de las ejecuciones más interesantes.

La ejecución que se muestra en la Figura 9 se corresponde con una ejecución de 100 meses (3000 ticks) de duración en la iteración 4. En ella se pueden observar los efectos de una selección incorrecta de los parámetros iniciales del modelo.

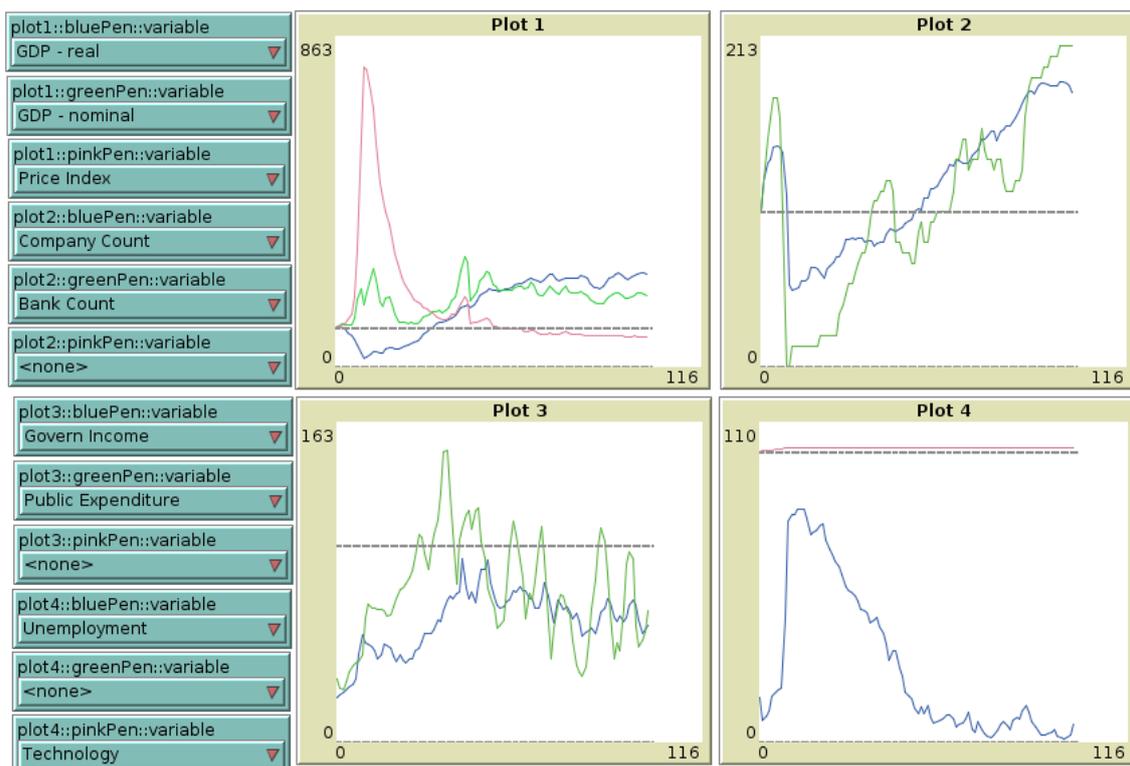


Figura 9: Ejecución con parámetros iniciales incorrectos

Se puede ver cómo al comienzo de la ejecución hay un pico de inflación y desempleo unido a una caída drástica en el número de empresas y, sobre todo, de bancos. Sin embargo, con suficiente tiempo, se puede ver cómo el modelo se adapta a las circunstancias y se recupera de la crisis en de forma espectacular. De hecho, la

situación final es una de las mejores que se han visto en cuanto a crecimiento del PIB y desempleo.

En la ejecución que se muestra en la Figura 10 correspondiente a la primera iteración se puede observar otro comportamiento interesante.



Figura 10: Clusterización de agentes

En esta ejecución las empresas tenían una mortalidad excesiva lo que provocaba que hubiera pocas empresas y las personas tendían a agruparse en torno a las pocas empresas supervivientes. En modelos posteriores este fenómeno no es tan evidente ya que, por un lado, el número de agentes se bastante superior y, por otro, las empresas no tienen un efecto atractor tan grande. Sin embargo, es un fenómeno que también se da alrededor del gobierno que es una gran fuente de empleo. Este es otro comportamiento que sin haber sido programado expresamente los agentes tienden a realizar ya que de esta forma las personas tienen empleo y acceso a bienes. Además,

es un comportamiento análogo al que ocurre en la realidad donde las personas tienden a agruparse en núcleos de población donde hay más oportunidades de empleo.

Otro comportamiento interesante puede observarse en la Figura 11 que también se corresponde con la primera iteración. Esta ejecución está dividida en tres secciones por dos eventos. Tras los primeros 50 meses se ha provocado un evento que ha subido el nivel tecnológico un 5%. 50 meses después se ha provocado un segundo evento que ha incrementado la cantidad de dinero en la economía un 10%.

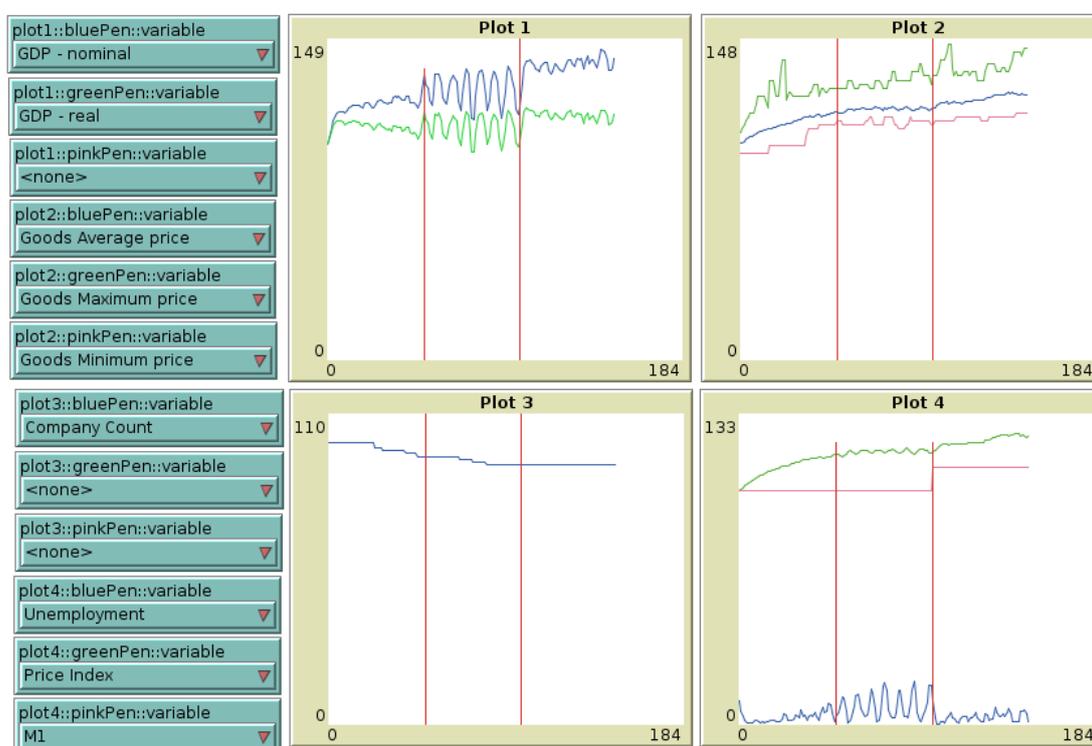


Figura 11: Comportamiento oscilante

El efecto del primer evento fue bastante sorprendente. Como era previsible, PIB real creció ligeramente y los precios se mantuvieron estables. Sin embargo, lo que destaca de la simulación es que tanto el PIB como el desempleo empezaron a oscilar de forma muy significativa. Por la experiencia de otra ejecuciones anteriores se identificó que el problema era que la cantidad de dinero en la economía no era suficiente, por ello se provocó el segundo evento. Como puede observarse el efecto es muy significativo: las oscilaciones cesan inmediatamente, el PIB real se estabiliza en un nivel más alto que el inicial, el desempleo vuelve a su situación original y se produce un ligero incremento del nivel de precios.

Como se ha podido ver los comportamientos observados son bastante complejos especialmente en los modelos más avanzados. El efecto de los cambios en los parámetros o los eventos, por lo general, tiene efecto en todos los aspectos de la economía y no se limita a una o unas pocas variables. También se ha observado que por lo general los modelos más avanzados son más inmunes a los eventos, es decir, requieren alteraciones mayores en las variables para ver un efecto significativo en la economía. Esta regla tiene una salvedad significativa en el último modelo desarrollado. Por lo general todas las variables tienen fuerzas en sentido opuesto que las hacen tender a un equilibrio adecuado, sin embargo, en el último modelo la inflación no tiene una fuerza correctora que limite su crecimiento y con una alteración adecuada en la economía se puede provocar una espiral inflacionista que prácticamente destruye la economía. Este caso no es el único que ha ocurrido pero si el más significativo. Como puntualización indicar que cuando hablamos de equilibrio en estos modelos no nos referimos a situaciones de equilibrio como las de los modelos macroeconómicos estáticos (en muy pocas ejecuciones se ha conseguido algo similar) si no a un equilibrio dinámico entre las variables del modelo que mantiene dicha economía en una situación estable.

4. Conclusiones

El objetivo de este proyecto era desarrollar un modelo macroeconómico basado en agentes y como tal se puede considerar un éxito. El modelo desarrollado simula correctamente una economía y se puede interactuar con él de forma sencilla para observar qué está sucediendo. También ha sido un acierto desarrollar el modelo de forma incremental ya que esto ha permitido ir adquiriendo experiencia con modelos sencillos de cara a ir abordando modelos cada vez más complejos. Además, poder disponer de una base sobre la que construir los modelos complejos ha simplificado mucho la corrección de los errores.

En el lado negativo el modelo resultante es bastante complejo tanto por volumen de código como por las interacciones que surgen al ejecutarlo, eso hace que no sea fácilmente modificable y escalable como se pretendía originalmente. Por otro lado, la decisión que se tomó de que no hubiera bienes de capital ha hecho que el cálculo del PIB esté distorsionado porque los activos no corrientes son demasiado líquidos y el uso que se hace de ellos no se corresponde con el que se hace en la realidad. La decisión se tomó por simplificar el desarrollo del modelo y en ese sentido fue efectiva pero ha provocado una carencia importante en el modelo, sería un aspecto a añadir en el futuro. Por último, la experiencia de desarrollar el modelo en NetLogo tampoco ha sido buena, la herramienta es muy interesante para desarrollar modelos pequeños pero conforme la complejidad del modelo aumenta las carencias NetLogo dificultan mucho seguir avanzando. En nuestro caso a partir la tercera iteración el desarrollo ha sido bastante problemático, en futuras versiones del modelo habría que plantear o bien invertir en el desarrollo de la herramienta o bien hacerlas usando otra tecnología.

Una cosa a destacar es la sensibilidad del modelo al entorno y la riqueza de comportamientos que se pueden observar en él. Como se ha visto, modificando un poco las variables se pueden conseguir efectos significativos en la economía y comportamientos que no aparecen en un modelo de equilibrio general. Una de las cosas que me ha llamado la atención al desarrollar el modelo es la relación entre el ahorro y la inversión. En los modelos estáticos sin sector exterior ambas variables son iguales, sin embargo, en nuestro modelo no lo son. Por un lado, cuando las personas ahorran pueden hacerlo en efectivo en vez de destinarlo a inversión, un concepto que, por otro lado, ya existe en el modelo IS-LM al describir la curva de demanda monetaria. Por otro lado, puede haber desfase temporal entre el ahorro y la inversión,

por ejemplo, puede ser necesario ahorrar durante varios periodos de tiempo para tener lo el capital mínimo necesario para invertir. Otra cosa destacable es que en el modelo, al igual que en la realidad, la economía nunca está en el equilibrio general que describen los modelos estáticos, incluso estando en una situación estable se producen desequilibrios y oscilaciones en las variables. Todos estos factores ponen en cuestión la validez de los modelos estáticos y ponen en valor los modelos económicos dinámicos basados en agentes. En contra de los modelos dinámicos cabría destacar su sensibilidad a los parámetros iniciales que hace que prácticamente sean sistemas caóticos. En un sistema caótico una pequeña variación inicial provoca resultados muy diferentes, esto hace que extraer conclusiones de dichos modelos sea complicado. Sin duda se puede hacer un análisis probabilístico de los posibles resultados dadas unas condiciones iniciales y ligeras variaciones de las mismas pero es ciertamente más complicado que las reglas que dan los modelos estáticos.

A nivel personal este proyecto me ha aportado mucho. Ha sido un proyecto muy interesante de desarrollar que ha combinado conocimientos de diferentes materias: macroeconomía, microeconomía, finanzas y un poco de contabilidad. Ha sido muy satisfactorio simular una economía y que ésta funcionara. También ha sido interesante comprobar las dificultades que entraña medir la economía, saber qué está ocurriendo durante la ejecución del modelo y pensar cómo deben reaccionar los agentes al entorno. Experimentar esas dificultades análogas a las que se presentan en la realidad y que durante la carrera se habían quedado en un plano meramente teórico ha sido muy enriquecedor. El proyecto también me ha hecho tomar conciencia de que muchas de las cosas que se han visto en la carrera son simplificaciones de la realidad que parten de unos supuestos que no tienen por qué cumplirse y que las conclusiones que se pueden extraer de ellas también pueden ser incorrectas, lo considero importante de cara a tomar decisiones acertadas en el futuro.

5. Referencias

1. Blanchard, O. & Amighini, A. & Giavazzi, F. (2012) Macroeconomía. Pearson.
2. Holcombe, M. et al. (2013) Large-Scale Modeling of Economic Systems. Complex Systems Publication
3. Wilensky, U (1999) NetLogo. <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL, USA.

6. Bibliografía

1. Blanchard, O. & Amighini, A. & Giavazzi, F. (2012) Macroeconomía. Pearson.
2. Hamill, L. & Gilbert, N. (2016). Agent-Based Modelling in Economics. John Wiley & Sons, Ltd.
3. Holcombe, M. et al. (2013) Large-Scale Modeling of Economic Systems. Complex Systems Publication
4. PPetrović, M. & Ozel, B. & Teglio, A. & Raberto, M. & Cincotti, S. (2017) Eurace Open: An agent-based multi-country model. Working Papers 2017/09, Economics Department, Universitat Jaume I, Castellón (Spain)
5. Railsback, S. F. & Grimm, V. (2012). Agent-Based and Individual-Based Modeling: a practical introduction. Princeton University Press.

7. Anexo I. Desarrollo del modelo

7.1. Iteración 0. Preparación del modelo

7.1.1 Funcionamiento básico del modelo

El modelo tendrá un mundo en el que habrá agentes de varios tipos que representarán las diferentes entidades económicas del mundo real: personas, empresas, etc. Los agentes se distribuirán por el mundo de forma aleatoria en el mundo ocupando cada uno de ellos una parcela y no pudiendo haber más de un agente en una misma parcela. Los agentes permanecerán inmóviles en sus parcelas durante la simulación aunque en determinadas circunstancias podrán cambiar de parcela. Los agentes interactuarán entre ellos a través de los diferentes mercados que se simulen: bienes, monetario, etc. Cada mercado definirá sus propias reglas de interacción entre los agentes.

La simulación se ejecutará usando ticks. Por conveniencia, al intervalo de 30 ticks lo denominaremos mes. En cada tick los agentes realizarán acciones operativas en su interacción en los mercados. Por ejemplo: las personas buscarán consumir bienes al mejor precio. Al final de cada mes los agentes realizarán acciones operativas que tengan periodicidad mensual. Por ejemplo: las empresas harán el cálculo de resultados y pagarán el impuesto de sociedades. Mensualmente, pero cada agente el el tick del mes que le corresponda, los agentes realizarán acciones estratégicas acerca de la forma que tienen de interactuar con los mercados. Por ejemplo: las personas podrán decidir mudarse de parcela si en la actual no hay suficientes bienes disponibles.

Durante la simulación se mostrarán diferentes variables macroeconómicas relevantes. Estas variables se calcularán a intervalos mensuales ya que hacerlo por cada tick puede hacer que las variables sean muy volátiles. Esto es coherente con lo que ocurren en la realidad, por ejemplo, el INE calcula el PIB trimestralmente² no a diario.

Los agentes tomarán las decisiones de forma no determinista, es decir, dadas unas circunstancias las decisiones tendrán una probabilidad de ocurrir. Las decisiones operativas y estratégicas que puede tomar cada agente se irán estableciendo en las diferentes iteraciones del modelo.

² https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736164439&menu=metodologia&idp=1254735576581

Al ser una simulación macroeconómica el número de agentes que debe intervenir en la economía debe ser grande para que las decisiones individuales de un agente no tengan efecto por si solas en el agregado de la economía. Este va a ser uno de los aspectos que tendremos en cuenta a la hora de diseñar el mundo en el apartado Diseño del interfaz de usuario.

7.1.2 Diseño del interfaz de usuario

A la hora de diseñar el mundo se ha tomado una decisión de compromiso entre la necesidad de maximizar el número de agentes para que sea un modelo macroeconómico realista y el hecho de que sea un modelo con el que el usuario pueda interactuar y visualizar de forma sencilla. Para determinar el tamaño del mundo se ha tomando como referencia una pantalla con la resolución más habitual en los monitores de sobremesa (1980x1080), el tamaño de la parcela mínimo para que se pueda identificar qué agente hay en ella y el espacio disponible en la solapa de interfaz de NetLogo, con esas variables se ha decidido que el mundo sea un cuadrado de 65 parcelas de ancho y alto. Eso da un mundo con 4.225 parcelas que pueden acomodar 2.000 agentes sin que se entorpezcan entre ellos.

En cuanto a la forma del mundo se ha decidido que sea una caja en vez de un cilindro o un toro porque coincide mejor con la distribución geográfica de los agentes en un país del mundo real.

Con el objetivo de potenciar la parte académica del modelo la interfaz se ha diseñado para que el usuario pueda interactuar con ella de varias formas. Haciendo clic en el mundo el usuario podrá seleccionar parcelas

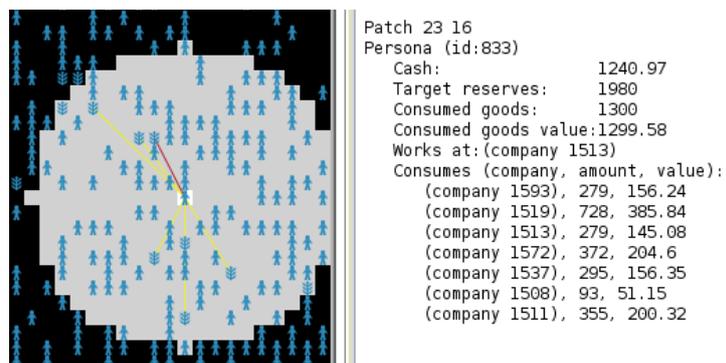


Figura 12: Agente seleccionado

y ver información acerca del agente que está en ella: textualmente en un control de salida y, gráficamente, las relaciones que tiene con otros agentes (Figura 12). También dispondrá de un selector para poder ver la población clasificada en función de la variable elegida, esta clasificación se visualizará en un histograma (Figura 13) y en el propio mundo mediante el coloreado de los agentes (Figura 14).

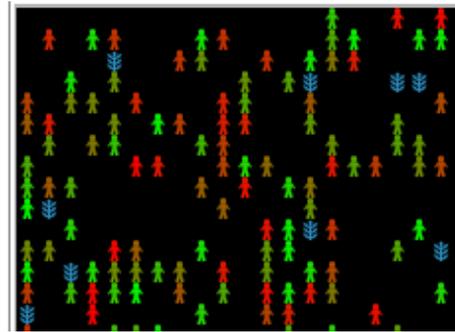
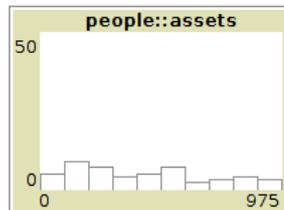


Figura 13: Selector de variable e histograma

Figura14: Agentes clasificados

Para manejar el modelo habrá tres botones en vez de los dos habituales de los modelos de NetLogo. Los botones habituales "Setup" y "Go" inicializarán el mundo y ejecutarán la simulación respectivamente. Además, habrá un botón "Show Info" que cuando esté pulsado permitirá al usuario interactuar con el modelo sin que avance el tiempo en la simulación.



Figura 15: Botones de control del modelo

El modelo mostrará mediante gráficas la evolución de las diferentes variables macroeconómicas del modelo y las condiciones de los diferentes mercados que se representen. En estas gráficas también quedará registrado cuando un usuario ha provocado un evento dibujando una raya vertical en las mismas.

Además de poder visualizar la de información de los agentes los usuarios podrán provocar eventos que alteren variables exógenas al modelo económico para poder así observar los efectos que tienen.

7.1.3 Estructura de código y nomenclatura

Para intentar que la solapa de código esté lo más organizada posible y dentro de las posibilidades que ofrece NetLogo se va a programar siguiendo las siguientes directrices:

- Por similitud con los modelos que el equipo docente ha propuesto como modelos base se ha decidido que el modelo esté en el idioma inglés. Esto afectará tanto a los nombres de variables y funciones como a los comentarios. En el Anexo II. Términos ingleses usados en el código fuente se pueden encontrar las traducciones de los términos usados.

- Las variables y funciones tendrán un prefijo que indicarán a qué entidad pertenecen. Por ejemplo, la variable "cash" de un agente persona se llamará "person::cash".
- Para diferenciar las variables de las funciones los nombres de las variables se escribirán en "lowerCamelCase" y las funciones en "UpperCamelCase". Es decir, las palabras que conformen el nombre irán unidas sin espacios y con la primera letra de cada palabra en mayúscula salvo la de la primera palabra que variará en cada caso.
- Para facilitar la localización de las funciones éstas estarán agrupadas por entidades. De este modo, las funciones de cada entidad estarán posicionadas adyacentemente unas con otras y separadas de las funciones del resto de entidades.

7.2. Iteración 1. Mercado de bienes

7.2.1 Descripción

En este mercado habrá personas y empresas. Las personas consumirán los bienes producidos por las empresas. Para producir estos bienes las empresas disponen de un único factor de producción que será el trabajo que proporcionarán las personas.

Las personas tendrán una limitación a la hora de consumir y trabajar, solo podrán hacerlo en aquellas empresas que estén dentro de su rango de actuación. A la hora de consumir las personas siempre lo harán al precio más bajo que tengan disponible por lo que la demanda del bien será totalmente elástica.

El número de personas y de empresas en este modelo será fijo. También será fija la cantidad de dinero que hay en la economía. El dinero se repartirá inicialmente entre todos los agentes de forma equitativa.

Las personas intentarán gastar todos sus ingresos en consumir. El único gasto de las empresas es la retribución de sus trabajadores que tendrá una parte fija y otra variable en función del beneficio de la empresa.

7.2.2 Diseño

Personas

Las personas en esta economía tienen los roles de consumidor y trabajador. Estarán representadas por un icono de una persona.

Variables:

1. Efectivo. Indicará la cantidad de dinero que tiene una persona.

65024017 TFG ADE

Programación de sistemas complejos con NetLogo

2. Empleo. Indicará si la persona tiene empleo o no.
3. Bienes consumidos. Indica la cantidad de bienes consumidos en el último mes completo.
4. Importe de los bienes consumidos. Indica el valor total de los bienes consumidos en el último mes completo.

Decisiones operativas:

1. Intentará comprar bienes en aquellas empresas que tengan los menores precios dentro de su rango de actuación. Si la empresa con menor precio no tuviera stock de bienes suficiente intentará comprar en la empresa que tenga el siguiente precio más bajo.
2. Si no tiene empleo, buscará empresas con vacantes en su rango de actuación y ocupará la primera vacante que encuentre.

Decisiones estratégicas:

1. Moverse a un terreno vacío. Las personas podrán tomar esta decisión cuando no tengan trabajo o no puedan gastar todo su dinero en consumir bienes.

Empresas

Las empresas en esta economía tienen el rol de productores. Estarán representadas por una espiga de trigo.

Como productores las empresas consumen trabajo y producen bienes. La cantidad de bienes producidos en cada tick vendrá determinada por la siguiente función:

$$P = \begin{cases} 0 & \text{si } N \leq 1 \\ A \times (N - 1) & \end{cases}$$

Siendo:

- P Número de bienes producidos.
- A Nivel tecnológico.
- N Número de trabajadores de la empresa.

Los costes de producción de los bienes en cada tick vendrán dados por la siguiente función:

$$C_T = N \times W$$

Siendo :

C_T Costes totales de producción.

N Número de trabajadores de la empresa.

W Salario por tick de cada trabajador

Por lo tanto, el coste unitario será el siguiente: $C_u = \frac{C}{P} = \frac{A}{W} \times \frac{N-1}{N}$. Como se puede observar el coste unitario se reducirá conforme se incremente el número de trabajadores pero de forma decreciente. Este coste marcará el precio unitario mínimo de venta de los bienes.

La empresa tendrá unas reservas que darán flexibilidad a la empresa a la hora de tomar decisiones limitando el impacto de las malas decisiones. Eso influirá en la forma que se pagan los salarios. Se hará de la siguiente forma.

1. Los trabajadores tendrán un sueldo fijo que habrá que abonar en cada tick (W).
2. Los beneficios se acumularán en las reservas.
3. Mensualmente se recalculará el nivel de reservas que quiere tener la empresa. El nivel de reservas será el necesario para pagar a la plantilla durante 3 meses. En caso de que la cantidad de dinero que tenga la empresa sea mayor que el necesario se repartirá el exceso entre los trabajadores.

En caso de que en un momento dado la empresa se quede sin dinero para pagar los salarios cerrará.

Variables:

1. Efectivo. Indica la cantidad de dinero que tiene la empresa.
2. Nivel de reservas objetivo. Nivel de reservas que desea tener la empresa, una vez superado este valor, los beneficios obtenidos se repartirán entre los trabajadores.
3. Trabajadores. Indica el número de trabajadores que tiene la empresa.
4. Vacantes. Número de puestos de trabajo que quiere cubrir la empresa. Inicialmente las empresas se crearán con 100 ± 20 vacantes.
5. Producción total. Cantidad de bienes producida en el mes completo anterior.
6. Valor de la producción: Valor de los bienes producidos en el mes completo anterior.
7. Bienes: Cantidad de bienes en los almacenes de la empresa.

8. Precio de venta: Precio al que la empresa ofrece sus productos.
9. Ventas: Unidades vendidas en el mes completo anterior.
10. Importe Ventas: Valor de los bienes vendidos en el mes completo anterior valorados a precio de venta.
11. Demanda: Cantidad de bienes demandada a la empresa en el mes completo anterior.

Decisiones operativas:

1. Producirá los bienes según la función de producción.
2. Pagará los salarios a los empleados.
3. Cierre. Si la empresa no pueda pagar a todos sus empleados repartirá el efectivo que tenga entre ellos y desaparecerá.

Decisiones estratégicas:

1. Subir el precios de los bienes. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea mayor que la producción, especialmente si hay vacantes sin cubrir.
2. Bajar el precio de los bienes. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea inferior a la producción de bienes y el precio sea superior al coste de producción unitario.
3. Incrementar la producción, creando vacantes. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea mayor que la producción.
4. Reducir la producción despidiendo trabajadores. La empresa podrá tomar esta decisión siempre que cuente con al menos dos trabajadores y la producción sea superior a la demanda.
5. Calcular el nivel de reservas en función del número de empleados previsto para el mes siguiente y repartir el exceso del fondo entre los trabajadores.

Variables de referencia

- PIB. El PIB es el valor a precios de mercado de los bienes y servicios finales producidos en la economía, en términos brutos y durante un periodo de tiempo. Se calculará por el método de la oferta. En el modelo el periodo de tiempo que consideraremos para el cálculo será un mes. La variable se expresará como un

índice de base 100 en el primer mes. El PIB se calculará a precios corrientes (PIB nominal) y a precios constantes (PIB real).

- Nivel de precios. Indica el precio medio de los bienes finales de la economía. Este nivel de precios se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Cantidad de dinero. Es la cantidad de dinero que hay en circulación en la economía. Inicialmente será la cantidad de efectivo y más adelante, cuando se introduzca el sistema bancario, se referirá a la cantidad de dinero en efectivo más el que esté en depósitos. Es decir, esta variable será el agregado monetario M1 de la economía. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Tasa de desempleo. Indicará el porcentaje de los agentes de tipo persona que no tiene trabajo respecto al total de los agentes de tipo persona.
- Ventas. Cantidad de bienes vendidos en el mes. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Producción. Cantidad de bienes producidos en el mes. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Precio. Precio máximo, mínimo y medio al que se han vendido bienes en el último mes. Las variables se expresarán como un índice de base 100 en el precio medio del primer mes.

Eventos

El usuario podrá alterar la economía con los siguientes eventos:

- Incrementar la cantidad de dinero en un 10%.
- Reducir la cantidad de dinero en un 10 %
- Subir el nivel tecnológico un 5 %
- Reducir el nivel tecnológico un 5 %.

7.2.3 Modificaciones al diseño

Las primeras ejecuciones del modelo no fueron exitosas. Aunque en general casi todos los modelos tendían al equilibrio, lo hacían en situaciones poco realistas: con una tasa de desempleo del 75% o con una mortalidad de las empresas superior al 90%.

Analizando las causas de estos funcionamientos se identificaron múltiples problemas en el modelo:

- La cantidad de dinero en la economía era insuficiente para que funcionara adecuadamente.
- La cantidad y tamaño inicial de las empresas era excesiva para el número de personas que había en el mundo. Según el planteamiento inicial había 200 empresas de 100 ± 20 trabajadores, lo que requeriría 20.000 personas, esto es claramente incompatible con el tamaño del mundo y con el número de personas que hay en él: 1.500. Por ello se reduce el número de empresas a 100 y con un número de empleados de 15 ± 5 .
- Los precios se trataban como números enteros cuando, debido al nivel de producción, su coste era de unos pocos céntimos. Esta situación hacía que se incrementara en exceso los precios de los bienes, se redujera la demanda y, finalmente, provocaba el cierre de empresas.
- El comportamiento de los agentes no era muy equilibrado lo que provocaba importantes fluctuaciones en la economía. Esto era especialmente grave en el caso de las empresas ya que esos comportamientos provocaban en muchos casos su cierre.

Por todo ello se modificaron diferentes aspectos del modelo para que su comportamiento fuera más adecuado:

- Se hizo un análisis para que las condiciones iniciales del modelo fueran lo más equilibradas posibles. Partiendo del tamaño del mundo y la limitación que impone al número de agentes se calculó una proporción adecuada entre personas y empresas. También se analizó la necesidad de dinero de los agentes para dotar a la economía de una cantidad adecuada de dinero.
- Se normalizó el número de decimales con los que se trabaja en el modelo: las cantidades de bienes será un número entero y las cantidades monetarias se expresarán con dos decimales.
- Se cambió el modelo de comportamiento de las personas para que su consumo fuera menos agresivo de forma que las empresas se enfrentaran a una curva de demanda más estable. De esta forma, las personas ya no consumen en cada turno todo el dinero que tienen. Las personas tienen un consumo autónomo independiente y unos ahorros con los que tratan de

garantizarse el consumo autónomo. El número de unidades del bien que van a consumir será el siguiente:

$$C = \left\{ \begin{array}{l} C_0 \quad \text{si } C_0 > \frac{W}{P_B} \\ \frac{W}{P_B} \end{array} \right\} + \left\{ \begin{array}{l} \frac{(E-R) \cdot 10\%}{P_B} \quad \text{si } E > R \\ 0 \end{array} \right\}$$

Donde:

- C Unidades a consumir.
- C_0 Consumo autónomo por tick.
- W Salario por tick.
- P_B Precio de los bienes.
- E Cantidad de efectivo que tiene la persona.
- R Reservas del trabajador. Cantidad de dinero que tiene ahorrado el trabajador por precaución. Se corresponde con el precio de los bienes para cubrir el consumo autónomo durante 3 meses: $R = C_0 \cdot P_B \cdot 90$

El número de unidades consumidas reales dependerá de si la persona tiene suficiente dinero para adquirir los bienes que desea consumir y de si en su entorno hay oferta suficiente de bienes

- Se ha modificado el comportamiento de las empresas para que actúen con más prudencia. Cuando las empresas crecen ahora lo hacen a un ritmo pausado de forma que, en caso de que no haya sido una buena decisión, puedan sobrevivir hasta la siguiente decisión estratégica. Cuando las empresas reducen su tamaño no se desprenden de sus reservas inmediatamente, lo hacen de forma progresiva por si la empresa vuelve a crecer y necesita volver a acumularlas. Por último cuando las empresas detectan que tienen problemas son más agresivas a la hora de reducir precios para incrementar la demanda y para despedir trabajadores si la producción es excesiva.
- Otro de los problemas que provocaba la muerte de muchas empresas eran los costes unitarios. Los costes unitarios en empresas de menos de 5 trabajadores eran muy grandes comparados con los del resto de empresas. Estos costes imponen un límite inferior al precio de venta las empresas provocando que no puedan incrementar su demanda bajando precios. Esto provocaba que en el momento que las empresas reducían el número de trabajadores, por tener poca demanda o exceso de stock, entraban en una espiral que les forzaba a reducir más el número de trabajadores con el consiguiente incremento de

costes. Por este motivo se ha modificado la función de producción de las empresas de forma que el peso de los costes fijos es mucho menor:

$$P = \begin{cases} 0 & \text{si } N < 1 \\ A \times (N - 0.1) & \end{cases}$$

- El primer problema al desarrollar el modelo fue la necesidad de acomodar en un espacio reducido toda la información que genera el modelo de forma que fuera accesible y útil para el usuario. La forma de hacerlo ha sido disponer de cuatro gráficas con tres líneas cada una en las que, igual que en los histogramas, el usuario pueda elegir en cada momento qué variables quiere ver. En la Figura 16 se puede ver el resultado.

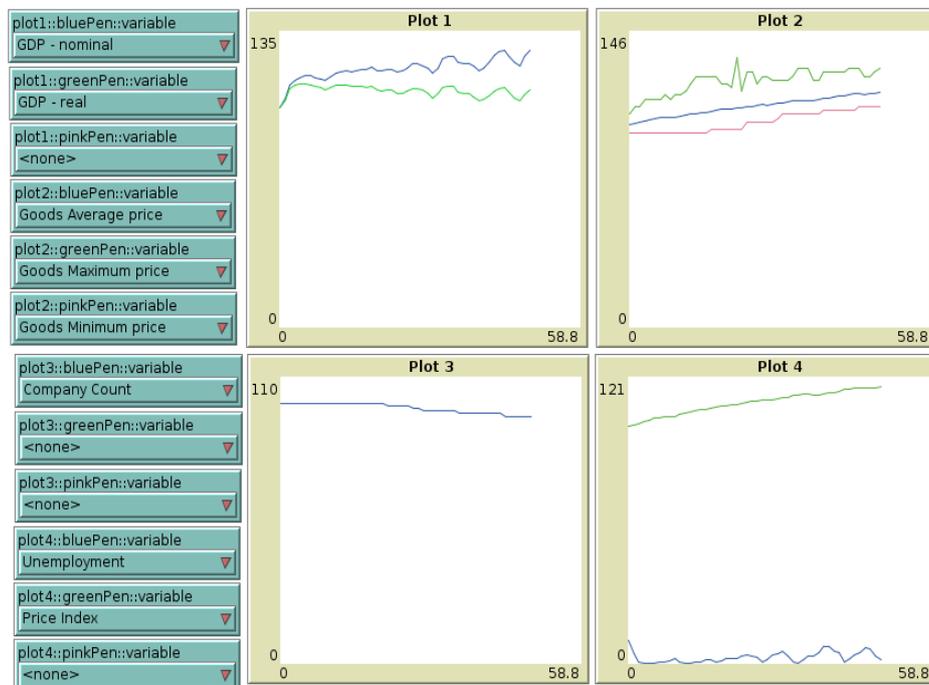


Figura 16: Gráficas con contenido seleccionable

7.3. Iteración 2. Mercado de inversión

7.3.1 Descripción

En esta iteración se va a añadir un segundo factor de producción a la economía: el capital. A partir de ahora las empresas para producir necesitarán trabajadores y capital. El capital lo proporcionarán las personas a través de la parte del ahorro que dediquen a la inversión.

Para proporcionar una vía a través de la cual canalizar el ahorro al capital de las empresas se va a desarrollar un mercado de acciones.

Para mantener la simplicidad de la economía el capital se va a consumir en bruto sin necesidad de invertirlo en bienes de capital. Esto evita tener que añadir un mercado de bienes de capital que podría ser causa de perturbaciones en la economía y dificultar el desarrollo del mercado de acciones.

Para obtener el capital que necesitan para producir las empresas emitirán acciones. Estas acciones tendrán un precio fijo y serán rentables gracias al dividendo periódico que repartirá la empresa. El dinero obtenido por la venta de acciones se usará en dos cosas: por un lado se guardará como efectivo para afrontar los pagos de los gastos de personal y, por otro, se invertirá en activos no corrientes que se usarán en la producción de bienes.

Las personas dejarán de dedicar todos sus ingresos al consumo para dedicar parte de los mismos al ahorro. Parte del dinero ahorrado lo dedicarán a la inversión en acciones de las empresas. Para ello buscarán aquellas acciones que tengan la remuneración más alta y las comprarán. En el caso del mercado de acciones las personas no tendrán limitación de distancia y podrán adquirir acciones de cualquier empresa que las oferte. En caso de necesitar dinero, las personas podrán devolver sus acciones a la empresa que se las vendió.

7.3.2 Diseño

Personas

En esta economía los trabajadores tendrán los roles de consumidor, trabajador e inversor. Respecto a la anterior iteración del modelo cambiará la forma que tienen las personas de consumir y se les incorporará la capacidad de invertir.

Las personas tendrán en cuenta varios factores a la hora de gastar su dinero:

- Tendrán una necesidad de consumir una mínima cantidad de bienes en cada tick (consumo autónomo)
- Para intentar asegurar ese consumo autónomo las personas ahorrarán el equivalente a 3 meses de consumo autónomo tomando como referencia el precio medio de los bienes en la economía. Este será el ahorro por precaución.
- Si los ingresos de la persona son mayores que lo necesario para el consumo autónomo, el exceso en parte se ahorrará y en parte se gastará en consumir en función de la propensión al consumo que la persona tenga definida.

- Además de los ingresos, a la hora de decidir la cantidad de bienes a consumir, se tomará como referencia el consumo del periodo anterior.
- Cuando los ahorros superen el dinero necesario para el ahorro por precaución, la persona invertirá sus ahorros en acciones de las empresas. A la hora de comprar acciones se usará la remuneración de las acciones como criterio de selección.
- En caso de que la persona no pudiera invertir en acciones por falta de oferta, para evitar que las personas acumulen capital, dedicarán al consumo los ahorros que superen el ahorro por precaución más el precio de una acción.
- Cuando a una persona se le acabe el dinero que ha ahorrado por precaución y quiera consumir podrá vender sus acciones. Las acciones las venderá a la empresa emisora (que las amortizará) y el precio que recibirá por ellas será el precio estándar de la acción o menor en caso de que la empresa haya convertido activos no corrientes en efectivo.

Teniendo lo anterior en consideración la cantidad de bienes que la persona querrá consumir será la siguiente:

$$C = \max \left\{ C_0, 50\% \cdot \frac{c \cdot Y + 0,1 \cdot E_E}{P_B} + 50\% \cdot \frac{C_{m-1}}{30} \right\}$$

$$Y = W + \frac{D}{30}$$

$$E_E = \max \left\{ 0, E - R - P_{AC} \cdot (N_{AO} - N_A + 1) \right\}$$

$$R = C_0 \cdot P_{MB} \cdot 90$$

Siendo:

- C Unidades a consumir en el tick
- C_0 Consumo autónomo por tick.
- C_{m-1} Bienes consumidos en el mes anterior
- c Propensión a consumir.
- Y Rentas del trabajador.
- E_E Exceso de efectivo. Ahorros que la persona no es capaz de invertir ni forman parte de sus reservas.
- W Salario recibido por tick.
- D Dividendo del mes anterior.
- P_B Precio medio de los bienes.
- E Cantidad de efectivo que tiene la persona.
- R Reservas del trabajador. Cantidad de dinero que tiene ahorrado el

- N_{AO} Número de acciones que la persona tiene como objetivo poseer.
- N_A Número de acciones que la persona posee.
- P_{AC} Precio de la acción.

Para evitar los problemas que teníamos en la iteración anterior se van a añadir dos nuevos mecanismos en la economía para tratar de hacerla más estable. Por un lado, para evitar el problema de la excesiva elasticidad en la demanda las personas ya no se fijarán en el precio a la hora de decidir en qué empresas comprar, se fijarán en el precio aparente. El precio aparente se calculará de la siguiente forma:

$$P_{AB} = P_B + 0,2 \times |C_P - C_E| \times P_B$$

Siendo:

- P_{AB} Precio aparente del bien
- P_B Precio al que la empresa vende el bien
- C_P Color de la persona
- C_E Color de la empresa

El color de los agentes será la variable por la que se calcule la afinidad que tiene una determinada persona por una determinada empresa. Si los colores de empresa y persona son similares tendrán más afinidad que si los colores son diferentes. El color tendrá un valor aleatorio entre 0 y 1. Con este sistema de preferencias la demanda de las empresas debería ser menos sensible a los cambios de precio y, por lo tanto, más estable. Esto debería mejorar la supervivencia de las empresas que tomen la decisión de cambiar el precio al que ofertan el bien.

Por otro lado, para evitar el problema de que el número de empresas solo decrece las personas van a tener la habilidad de crear empresas. Las personas podrán crear una empresa cuando estén sin empleo y tengan dinero suficiente para comprar una acción. La empresa la crearán dentro de su radio de acción. Al crear la empresa automáticamente se convertirán en trabajadores y accionistas de la misma.

Variables:

1. Color. Variable que se usará para calcular la afinidad que tiene la persona con las empresas.
2. Ahorro por precaución. Cantidad de dinero que la persona quiere disponer para garantizarse el consumo autónomo.

3. Número de acciones: Número de acciones que posee la persona.
4. Número de acciones deseado: Número de acciones que quiere tener la persona.

Decisiones operativas:

1. Buscar empleo. Se añade una restricción en esta decisión. Las empresas tienen que tener activos no corrientes antes de contratar. Esta restricción se añade para asegurar que las empresas tienen suficientes capital antes de empezar a contratar personas.
2. Comprar acciones o vender acciones. Comprar acciones hasta llegar a tener el número deseado de acciones o venderlas en caso de necesitar dinero.

Decisiones Estratégicas:

1. Calcular el nivel de ahorro por precaución y el número de acciones que desea tener.
2. Crear una empresa. En caso de no tener empleo o no poder consumir todos los bienes que desea por falta de oferta.

Empresas

Como ya se ha dicho, ahora las empresas tendrán dos factores de producción: trabajo y capital. Los trabajadores se gestionarán igual que en la iteración anterior. El capital lo aportarán las personas a través de las acciones de la empresa.

Para conseguir capital las empresas emitirán acciones que las personas comprarán. Las acciones tendrán un valor nominal fijo y su rentabilidad vendrá dada por el dividendo que repartirán las empresas. Una vez emitidas las acciones solo podrán volver a la empresa a iniciativa del accionista. Por este motivo la empresa debe ser cuidadosa a la hora de ampliar capital ya que es una decisión permanente. No existe mercado secundario de acciones por lo que cuando un accionista venda una acción se la comprará la propia empresa y la amortizará. Las acciones se comprarán por su valor nominal y se venderán por su valor contable.

Estos son el balance de situación y la cuenta de pérdidas y ganancias de las empresas en esta economía:

Balance de situación			
Activo		Patrimonio neto y pasivo	
(1)	Activo no corriente	Capital Social	(4)
(2)	Existencias	Resultados anteriores	(5)
(3)	Efectivo		

1. Activo no corriente. Son los activos dedicados a la producción.
2. Existencias. Son los bienes almacenados valorados a precio de coste. Para la gestión del almacén se usa el precio medio ponderado.
3. Efectivo. Será el dinero del que dispondrá la empresa para pagar los gastos. La empresa tratará de tener un nivel de efectivo suficiente para afrontar imprevistos. En caso de que la cantidad de efectivo sea inferior al nivel deseado la empresa podrá convertir parte del activo no corriente en efectivo. El nivel de efectivo deseado se calculará de la siguiente forma:

$$E_{o\ t} = \begin{cases} N \cdot W \cdot 90 & \text{si } N \cdot W \cdot 90 > E_{o\ m-1} \\ 25\% \cdot N \cdot W \cdot 90 + 75\% \cdot E_{o\ m-1} & \text{si } N \cdot W \cdot 90 \leq E_{o\ m-1} \end{cases}$$

Siendo:

E_o Efectivo objetivo

N Número de trabajadores y vacantes de la empresa.

W Salario por tick de cada trabajador

4. Capital Social. Valor de las acciones emitidas y suscritas.
5. Resultados anteriores. Valor acumulado de las ganancias o pérdidas de la empresa. Si al finalizar el mes este valor es mayor que cero, la empresa lo distribuirá como dividendo.

Cuenta de Pérdidas y Ganancias	
Ventas	(1)
Variación de existencias	(2)
Gastos de personal	(3)
Resultado de explotación	
Resultado	

1. Ventas. Valor de las ventas realizadas en el mes.
2. Variación de existencias. Diferencia en el valor de las existencias almacenadas por la empresa.
3. Gastos de personal. Serán los únicos costes de producción. Se abonarán en cada tick y se calcularán de la siguiente forma: $C_p = N \times W$

Siendo:

- C_p Costes (gastos) de personal
- N Número de trabajadores de la empresa.
- W Salario por tick de cada trabajador

La cantidad de bienes producidos vendrá dada por a nueva función de producción. Ésta será una función de tipo Cobb-Douglas ya que favorece un aumento equilibrado de los factores de producción:

$$P = \begin{cases} 0 & \text{si } N < 1 \\ A \cdot (N - 0,1)^{0,5} \cdot \left(\frac{K}{5000}\right)^{0,5} & \end{cases}$$

Siendo:

- P Número de bienes producidos.
- A Nivel tecnológico.
- N Número de trabajadores de la empresa.
- K Cantidad de capital (activos no corrientes) que tiene la empresa.

Variables:

1. Color. Factor de afinidad entre la empresa y los consumidores.
2. Acciones. Número de acciones que tiene actualmente la empresa.
3. Cantidad de acciones objetivo. Número de acciones que desea tener la empresa.
4. Efectivo objetivo. Cantidad de dinero que desea tener la empresa para atender sus necesidades a corto plazo.
5. Activos no corrientes. Activos dedicados a la producción de bienes.
6. Existencias. Número de unidades de bienes en los almacenes.

7. Valor de las existencias. Valor a precio de coste de las existencias en los almacenes.
8. Gastos de explotación. Gastos de explotación del mes anterior.
9. Resultado de explotación. Resultado de explotación del mes anterior.
10. Beneficio por acción. Se calculará mensualmente con los datos previstos para el mes siguiente:

$$B_A = \frac{P_B \cdot P - C_T}{N_{AO}}$$

Siendo:

- B_A Beneficio por acción
- P_B Precio de venta de los bienes.
- P Producción prevista para el mes siguiente en función del número de trabajadores y capital previsto.
- C_T Costes totales previstos para el mes siguiente en base al número de trabajadores previsto.
- N_{AO} Número de acciones objetivo

Acciones operativas:

Sin cambios.

Acciones estratégicas

1. Incrementar la producción, ampliando capital. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea mayor que la producción.
2. Ajustar la cantidad de efectivo en función del número de empleados previsto para el mes siguiente.

Acciones mensuales

1. Si la partida de resultados anteriores es positiva, repartir entre los accionistas un dividendo.

Variables de referencia

En esta iteración se desglosarán los componentes del PIB relacionados con el consumo y con la inversión para poder visualizar la parte que corresponde a cada uno de ellos.

- Consumo. Cantidad de bienes consumidos por las personas en el mes. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial. Se desglosará en dos variables el consumo real y el nominal, que serán el consumo a precios constantes y a precios corrientes respectivamente.
- Inversión. Variación neta de los activos no corrientes y las existencias en el mes. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial. Se desglosará en dos variables la inversión real y la nominal, que serán la inversión a precios constantes y a precios corrientes respectivamente.
- Rentas del trabajo. Será la renta percibida por las personas por el trabajo realizado. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial. Se desglosará en dos variables la renta del trabajo real y la nominal, que serán las rentas del trabajo a precios constantes y a precios corrientes respectivamente.
- Rentas de inversión. Será la renta percibida por las personas por tener acciones en empresas. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial. Se desglosará en dos variables la renta del capital real y la nominal, que serán las rentas del capital a precios constantes y a precios corrientes respectivamente.

7.3.3 Modificaciones al diseño

Con la experiencia de la primera iteración la ejecución de la segunda ha sido mucho más exitosa, el modelo tendía al equilibrio desde el primer momento y era estable. Aun así las primeras ejecuciones tenían algunos problemas que se han solucionado.

En esta iteración se ha añadido la posibilidad de que las personas pudieran crear empresas y esta acción ha necesitado varios ajustes. Al comienzo, las empresas empezaban su actividad nada más crearse, pero en muchos casos no tenían suficiente capital como para mantener su actividad y desaparecían inmediatamente. La solución fue impedir que las empresas comenzaran la actividad hasta tener suficiente capital. Esto provocó que hubiera demasiadas empresas sin suficiente capital para producir acaparando capital que hubiera permitido crear empresas activas. Para evitar esta situación se introdujeron dos modificaciones: las empresas que no consiguen capital suficiente en 3 meses desaparecen y se ha reducido la cantidad de efectivo objetivo, de reservas para 90 ticks pasa a 45.

Relacionado con la cantidad de efectivo objetivo, se vio que las empresas acumulaban demasiado efectivo en detrimento de los activos no corrientes. Esto se debe a una

herencia de la iteración anterior en la que el capital de la empresa no estaba respaldado por acciones y para evitar que se redujera demasiado rápido se hizo que dependiera del nivel de efectivo objetivo del mes anterior. Con estas consideraciones la cantidad de efectivo objetivo ahora se calcula así:

$$E_o = N \cdot W \cdot 45$$

Siendo:

E_o Efectivo objetivo

N Número de trabajadores y vacantes de la empresa.

W Salario por tick de cada trabajador

Otra anomalía que se detectó en el modelo es que las empresas acumulaban demasiado capital y no eran capaces de desprenderse de él. Se modificó la forma en la que las empresas toman la decisión estratégica de crecer para que fuera más probable un crecimiento equilibrado de los factores y no crecieran demasiado rápido en capital. Además, para hacer que el mercado de acciones sea más dinámico las personas podrán tomar una nueva decisión estratégica de desprenderse de sus acciones menos rentables si en el mercado hay unas con mayor rentabilidad.

Por último, se detectó que en los primeros ticks de ejecución las variables del modelo tenían picos relacionados con la asignación inicial de acciones a las empresas y la inversión del capital en activos no corrientes. Para mitigar la aparición de esos picos al configurar el modelo se hace una primera asignación de inversores y empleados a las empresas.

Un aspecto que empezaba a ser problemático ya en la iteración anterior es el tamaño del código. En la iteración 1 había 2.000 líneas de código y resultaba complicado moverse en él. En previsión de que el problema vaya a ir a peor debido a la nueva funcionalidad que se vaya añadiendo se ha decidido dividir el código del modelo en varios archivos.

Por otro lado, se han hecho algunos ajustes a la interfaz de usuario siendo el más destacado la adición en las gráficas de líneas de referencia en los valores 0 y 100.

7.4. Iteración 3. El gobierno

7.4.1 Descripción

En esta iteración se añadirá un nuevo agente a la economía: el gobierno. Este agente tendrá dos objetivos, por un lado, redistribuir la riqueza entre las personas asegurando un mínimo de ingresos a todas ellas. Para ello el gobierno pagará una renta a todas

aquellas personas que estén desempleadas. Por otro lado, invertir en el desarrollo de la economía. Para esto el gobierno contratará personas, funcionarios, que trabajarán en incrementar el factor tecnológico de la economía.

Para pagar las rentas de desempleo y los sueldos de los funcionarios el gobierno ingresará dinero a través de los impuestos. Se establecerán tres tipos de impuestos: a la renta de los trabajadores que gravará las rentas del trabajo y del capital, a los beneficios de las empresas y al consumo. En esta economía los dividendos estarán sujetos a doble tributación, tributarán como beneficio de la empresa y como renta del trabajador.

En este modelo no existe sistema bancario por lo que el gobierno no podrá endeudarse en caso de que tenga déficit y no tenga recursos ahorrados. En caso de que se diera esta circunstancia el gobierno tendrá que reducir gastos. Para evitar esta situación el gobierno intentará tener unas reservas con las que hacer frente a déficits coyunturales.

7.4.2 Diseño

Personas

El comportamiento de las personas en el modelo no variará mucho con las siguientes excepciones:

Ahora las personas además de buscar trabajo en empresas también podrán buscarlo en el gobierno.

En el momento de consumir las personas pagarán el impuesto al consumo que estará incluido en el precio del bien.

Al cobrar el salario o dividendos la cantidad de dinero que percibirán las personas estará minorada por el impuesto de la renta.

Empresas

Las empresas tampoco experimentarán muchos cambios. El más destacado es que tendrán que pagar mensualmente el impuesto por el beneficio obtenido

El balance de situación de las empresas no cambiará respecto a la iteración anterior. La cuenta de pérdidas y ganancias sí que lo hará:

Cuenta de Pérdidas y Ganancias	
Ventas	
Variación de existencias	
Gastos de personal	
Resultado de explotación	
Resultado antes de impuestos	
Impuestos sobre beneficios	(1)
Resultado	

1. Impuesto sobre beneficios. Se calculará aplicando el tipo vigente del impuesto sobre el beneficio al resultado antes de impuestos. En caso de que la base a pagar sea negativa la cantidad a pagar será cero y no se podrá compensar en periodos sucesivos.

Algunas variables se verá afectado el cálculo de algunas variables:

- A los precios de venta de los bienes se les añadirá el impuesto al consumo.
- El importe de las ventas se calculará sin impuestos para su uso en la cuenta de pérdidas y ganancias.
- El valor de la producción a precios de mercado que se usa en el cálculo del PIB se calculará con impuestos.
- El beneficio por acción se calculará a partir del resultado previsto incluyendo el impuesto de beneficios.

Gobierno

El gobierno es un nuevo agente que se va a añadir a la economía. Habrá un único agente de este tipo, estará ubicado en el centro del mundo y estará representado por un icono nuevo que representa el edificio del gobierno.

El gobierno ingresará dinero de los impuestos, pagará a sus trabajadores y pagará las rentas a los desempleados.

Los beneficios que aportará el gobierno a la economía con sus gastos y transferencias serán los siguientes:

- El trabajo de los empleados del gobierno será incrementar el nivel tecnológico de la economía. Este hecho hará que las empresas produzcan más beneficiando a las empresas y a la economía en general. Este comportamiento

es coherente con el gasto que puede hacer el estado en la realidad en áreas como: educación, sanidad, inversiones en infraestructuras, seguridad, etc. Todas ellas tienen externalidades positivas que afectan a la producción de las empresas.

- Las transferencias a los desempleados permitirán que todas las personas de la economía puedan permitirse consumir un mínimo vital reduciendo la pobreza y la desigualdad. En términos operativos de la simulación, se evitará que haya personas sin recursos y sin empleo que al no demandar bienes no provocan la generación de nuevos puestos de trabajo en las empresas que les puedan sacar de dicha situación.

El gobierno no tendrá control respecto a sus ingresos ya que no podrá modificar los tipos impositivos. La modificación de los tipos impositivos solo la podrá hacer el usuario mediante eventos. Tampoco podrá controlar el gasto que realiza en el pago de la renta a los desempleados ya que depende de la cantidad de personas desempleadas en la economía y su valor será constante. El único modo de ajustar los gastos a los ingresos será mediante la contratación o despido de los funcionarios. Cuando haya superávit, contratará empleados y cuando haya déficit los despedirá. Si se diera el caso de que el gobierno se queda sin recursos suficientes, se reduciría la renta de desempleo a lo que pudiera pagar el gobierno.

Para establecer los tipos impositivos del modelo se tomarán como referencia los de Gipuzkoa por ser los que me quedan más cercanos.

- Impuesto al consumo: 21% (Ley 37/1992, de 28 de diciembre, del Impuesto sobre el Valor Añadido. Art. 90.Uno).
- Impuesto a la renta: 23% (Norma Foral 3/2014, de 17 de enero, del Impuesto sobre la Renta de las Personas Físicas del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Art.75.1, Se toma el tipo más reducido de al base liquidable general).
- Impuesto al beneficio: 24% (Norma Foral 2/2014, de 17 de enero, del Impuesto sobre Sociedades del Territorio Histórico de Gipuzkoa. Art. 56.1).

La renta de desempleo será constante e inferior al salario mensual de la economía. De no serlo, los ajustes de plantilla del gobierno no servirían para corregir el déficit. Al inicio será mayor que la cantidad de dinero necesaria para el consumo autónomo.

Variables:

1. Efectivo. Cantidad de dinero que tiene el gobierno.

2. Nivel de efectivo objetivo. El nivel de efectivo se calculará tratando de garantizar las rentas de desempleo y salarios actuales durante 3 meses. Igual que ocurría en las empresas de la primera iteración, el nivel de efectivo objetivo se incrementará rápido con las necesidades pero se decrementará de forma pausada.
3. Trabajadores. Cantidad de trabajadores (funcionarios) que tiene el gobierno.
4. Vacantes. Número de puestos de trabajo que tiene pendientes de cubrir el gobierno.

Decisiones operativas:

1. Pagará los salarios a los empleados.
2. Pagará la renta de desempleo a aquellos trabajadores que no tengan trabajo.

Decisiones estratégicas:

1. Contratar trabajadores, creando vacantes. El gobierno tomará esta decisión cuando tenga superávit.
2. Despedir trabajadores. El gobierno tomará esta decisión cuando tenga déficit.
3. Calcular el nivel de reservas en función del número de empleados y el nivel de desempleo actual.

Variables de referencia

- Ingresos. Valor total de los ingresos del gobierno en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.
- Ingresos por impuesto al consumo. Valor total de los ingresos del gobierno por el impuesto al consumo en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.
- Ingresos por impuesto a la renta. Valor total de los ingresos del gobierno por el impuesto a la renta en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.
- Ingresos por impuesto a los beneficios. Valor total de los ingresos del gobierno por el impuesto a los beneficios en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.
- Gastos. Valor total de los gastos del gobierno en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.

- Gasto en desempleo. Valor total de los gastos en rentas de desempleo del gobierno en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.
- Gasto en funcionarios. Valor total de los gastos en salarios del gobierno en el mes anterior. La variable se expresará como un índice con base 100 en el PIB inicial.

Estas variables se podrían expresar en términos reales o nominales, pero para evitar añadir tantas variables en los selectores de las gráficas, estas variables solo se expresarán en términos nominales.

Además de las nuevas variables el nuevo mercado afectará a la forma en la que se calcula el PIB ya que ahora los precios de los bienes incluirán los impuestos al consumo.

Eventos

Se añadirán los siguientes eventos con los que el usuario podrá alterar el funcionamiento de la economía:

- Incrementar el tipo del impuesto al consumo en 2 puntos porcentuales.
- Decrementar el tipo del impuesto al consumo en 2 puntos porcentuales.
- Incrementar el tipo del impuesto a la renta en 2 puntos porcentuales.
- Decrementar el tipo del impuesto a la renta en 2 puntos porcentuales.
- Incrementar el tipo del impuesto a los beneficios en 2 puntos porcentuales.
- Decrementar el tipo del impuesto a los beneficios en 2 puntos porcentuales.

7.4.3 Modificaciones al diseño

Las primeras ejecuciones de esta iteración no han sido exitosas debido a que el nuevo agente no estaba correctamente equilibrado. El gobierno tenía demasiados ingresos y pocos gastos y era incapaz de corregir esa situación porque necesitaba más empleados que personas hay en su radio de interacción. Eso provocaba que todas las personas en su radio de acción trabajaran para el gobierno impidiendo desarrollarse a las empresas del entorno.

Se han hecho los siguientes ajustes en el modelo para que funcionara adecuadamente:

- Se han reducido los impuestos: el IVA al 13% y el impuesto de la renta al 13%. El impuesto al beneficio se ha dejado ya que tiene una recaudación marginal y prácticamente no afecta a los ingresos.
- Se ha ampliado el radio de interacción del gobierno de forma que pueda contratar personas a mayor distancia.
- Se ha incrementado el número de personas en la simulación, han pasado de 1.750 a 2.000 y el número inicial de funcionarios de 100 a 350.

Para evitar picos inflacionistas en los primeros meses de la simulación se ha modificado la forma que hay de calcular la demanda de las empresas. Hasta ahora cuando una persona intentaba consumir en una empresa se añadía dicho intento como demanda, si no podía satisfacer esa demanda iba a la siguiente empresa y hacía otro intento de consumir provocando un incremento de demanda en la segunda empresa. Esto provocaba una demanda ficticia que las empresas que intentaban satisfacer aumentando la producción. Al no haber demanda para dicha producción las empresas se quedaban con un exceso de stock que trataban de ajustar despidiendo trabajadores. Finalmente la situación se equilibraba pero en las gráficas se apreciaba claramente el problema. La nueva forma de calcular la demanda lo que hace es que la demanda secundaria se queda registrada en las empresas dividida por el número de intento a consumir de la persona haciendo que sea un valor más ajustado a la realidad.

En las gráficas se ha añadido una nueva variable: la tecnología. La tecnología se usa en la función de producción de los bienes y el usuario la puede alterar mediante un evento. También se ha modificado la variable Bienes Vendidos para que tome como base del índice la variable Bienes Producidos.

7.5. Iteración 4. Mercado monetario

7.5.1 Descripción

En esta iteración se va a añadir un nuevo mercado al modelo: el mercado monetario. Para añadir este nuevo mercado se añadirán también dos nuevos tipos de agentes: los bancos y el banco central.

Gracias a este nuevo mercado las empresas podrán recurrir al endeudamiento para obtener capital y el gobierno tendrá la capacidad de endeudarse para cubrir el déficit. Los agentes encargados de prestar dinero serán los bancos.

El otro nuevo agente será el banco central que se encargará de mantener la estabilidad de los precios en la economía. El banco central se encargará de mantener el nivel adecuado de de dinero en la economía a través de préstamos que ofrecerá a los bancos.

Para modelar el mercado de deuda de forma sencilla la forma que todos los agentes se endeudarán de forma homogénea. Los agentes emitirán bonos con un valor nominal fijo, un plazo preestablecido de 6 meses y pagarán un cupón periódico. Lo que diferenciará unos bonos de otros será el tipo de interés del bono. Los bancos comprarán dichos bonos basándose en la rentabilidad del bono y el riesgo del emisor.

Para poder prestar dinero los bancos necesitan captar dinero y lo harán de dos fuentes: emitiendo acciones y con préstamos recibidos del banco central.

El banco central ofrecerá dinero a los bancos para que lo tomen prestado. La cantidad de dinero ofrecida variará en función del tipo de política monetaria que quiera tener el banco: expansiva o restrictiva.

7.5.2 Diseño

Empresas

Con este nuevo mercado las empresas además de financiarse a través de acciones se financiarán también a través de préstamos que obtendrán de los bancos.

Cuando una empresa quiera obtener dinero emitirá un bono con el precio y plazo establecidos. El bono tendrá un interés fijo que la empresa elegirá para tratar de colocarlo en el mercado. La empresa inicialmente ofrecerá un interés bajo y lo irá incrementando hasta colocarlo en el mercado. Los intereses del bono se pagarán en cada tick y el nominal del bono se devolverá al vencimiento.

Con estos nuevos conceptos el balance de situación y la cuenta de pérdidas y ganancias de las empresas se queda así:

Balance de situación			
Activo		Patrimonio neto y pasivo	
	Activo no corriente	Capital Social	
	Existencias	Resultados anteriores	
	Efectivo	Deudas	(1)

1. Valor de los bonos emitidos

Cuenta de Pérdidas y Ganancias	
Ventas	
Variación de existencias	
Gastos de personal	
Resultado de explotación	
Gastos financieros	(1)
Resultado financiero	(2)
Resultado antes de impuestos	(3)
Impuesto sobre beneficios	
Resultado	

1. Gastos financieros. Intereses pagados por los bonos emitidos.
2. Resultado financiero. Al no haber ingresos financieros, es igual a los gastos financieros.
3. Resultado antes de impuestos. Se calcula como la suma del resultado de explotación y el resultado financiero.

El uso que hagan las empresas del dinero obtenido a través de préstamos será igual al que hacían hasta ahora del dinero obtenido de las acciones. Lo que cambiará será la estructura de capital de las empresas. Al crearse las empresas se les asignará un ratio de endeudamiento objetivo que tratarán de mantener cuando emitan acciones y bonos.

$$\text{Ratio de endeudamiento} = \frac{\text{Pasivo}}{\text{Patrimonio neto}}$$

Variables:

1. Ratio de endeudamiento objetivo: Ratio de endeudamiento que la empresa desea tener.
2. Bonos ofrecidos: Cantidad de bonos que la empresa tiene disponible a la venta.
3. Interés ofrecido: Interés que ofrece la empresa por los bonos.
4. Gastos financieros. Importe pagado como intereses en el mes completo anterior.

Acciones operativas:

1. Pago de intereses. Las empresas pagarán los intereses de los bonos emitidos.

2. Pago del nominal. Al vencimiento de los bonos la empresa devolverá el valor del bono emitido.
3. Incremento del interés ofrecido. Si la empresa no es capaz de vender los bonos ofrecidos a un interés dado, incrementará su interés para hacerlos más atractivos. El interés ofrecido estará limitado por la capacidad que tenga la empresa de asumir el gasto financiero extra.
4. Cierre. Si la empresa no pueda pagar a todos sus empleados o si la empresa no puede pagar sus deudas la empresa cerrará. Al cerrar, repartirá sus activos entre sus acreedores en el siguiente orden: trabajadores, prestamistas y accionistas. Después la empresa desaparecerá.

Acciones estratégicas:

1. Incrementar la producción, ampliando capital. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea mayor que la producción. El incremento de capital se hará emitiendo acciones y bonos de tal forma que el ratio de endeudamiento tienda al ratio de endeudamiento objetivo.

Acciones mensuales:

Sin cambios.

Gobierno

El gobierno utilizará bonos para financiarse cuando no tenga recursos para hacer frente a los gastos. Por ello, cuando tenga déficit, el gobierno se endeudará para asegurar que el nivel de reservas se mantiene en el nivel deseado.

En caso de que los gastos financieros sean superiores a los ingresos del gobierno, el gobierno se declarará en bancarrota. En esta situación el banco central rescatará al gobierno haciendo una emisión extraordinaria de dinero que servirá para liquidar los préstamos que tiene el gobierno con los bancos.

El nivel de riesgo del gobierno será 1 (sin riesgo) ya que los bancos tienen la certeza de que el gobierno les va a devolver el dinero.

Variables:

1. Bonos ofrecidos: Cantidad de bonos que el gobierno tiene a la venta.
2. Interés ofrecido: Interés que ofrece el gobierno por los bonos.

3. Gastos financieros. Importe pagado como intereses en el mes completo anterior.

Acciones operativas:

1. Pago de intereses. El gobierno pagará los intereses de los bonos emitidos.
2. Pago del nominal. Al vencimiento de los bonos el gobierno devolverá el valor del bono emitido.
3. Incremento del interés ofrecido. Si el gobierno no es capaz de vender los bonos ofrecidos a un interés dado, incrementará su interés para hacerlos más atractivos. El interés ofrecido estará limitado por la capacidad que tenga la empresa de asumir el gasto financiero extra.

Acciones estratégicas:

1. Despedir trabajadores. El gobierno podrá tomar esta decisión cuando tenga déficit primario, es decir, cuando los ingresos sean inferiores a los gastos excluidos los gastos financieros. La decisión será más probable cuando mayor sea el déficit.
2. Calcular el nivel de reservas en función del número de empleados, el nivel de desempleo actual, los intereses previstos y los vencimientos de deuda.

Bancos

Los bancos son empresas que se dedican a adquirir los bonos de otras empresas y del gobierno. Para realizar su trabajo necesitan empleados y capital. En el mercado de trabajo se comportarán como el resto de empresas. Para obtener capital podrán recurrir a la emisión de acciones o podrán obtener dinero prestado del banco central.

A la hora de comprar bonos los bancos se fijarán en el interés que oferta el bono y su riesgo. Los bancos deberán mantener el riesgo del banco cercano al objetivo que se marque para evitar entrar en pérdidas. El riesgo del banco se calcula como la media ponderada de los riesgos de los bonos que posee. El riesgo de los bonos será el de las empresas que los emitan y se calculará de la siguiente forma:

$$R = e^{-\frac{B}{I}} + 1$$

Siendo:

- | | |
|---|--|
| R | Riesgo: Siendo 1 el valor sin riesgo. |
| I | Interés periódico o cupón ofrecido por la empresa a los bono |
| B | Beneficio de la empresa |

En el anexo 9 se justifica la elección de dicha fórmula para medir el riesgo de las empresas en el modelo.

Partiendo del riesgo actual que soporta el banco y el riesgo objetivo que tiene el banco, el banco establecerá un riesgo máximo al que quiere comprar futuros bonos. Al acudir al mercado de bonos comprará aquellos bonos que tengan den el mayor interés y con un riesgo inferior al riesgo máximo.

El número de bonos que puede poseer un banco estará limitado por el número de empleados que tenga ya que cada empleado tendrá capacidad para gestionar como máximo 75 bonos.

El dinero que utilizará para comprar los bonos provendrá de las aportaciones de los accionistas y de préstamos del banco central. Al igual que las empresas los bancos tratarán de mantener un ratio de endeudamiento.

Variables:

1. Efectivo: Indica la cantidad de dinero que tiene el banco.
2. Nivel de reservas objetivo: Nivel de reservas que desea tener la empresa, una vez superado este valor, los beneficios obtenidos se repartirán entre los trabajadores.
3. Trabajadores: Indica el número de trabajadores que tiene el banco.
4. Vacantes: Número de puestos de trabajo que quiere cubrir el banco.
5. Nivel de riesgo objetivo. Nivel de riesgo de los bonos adquiridos que el banco desea mantener.
6. Nivel de riesgo actual. Nivel de riesgo que tienen actualmente los bonos que posee el banco.
7. Ratio de endeudamiento objetivo: Ratio de endeudamiento que el banco desea tener.

Acciones operativas:

1. Adquirir bonos en el mercado.
2. Pagar los salarios a los empleados.

Acciones estratégicas:

1. Emitir acciones. El banco tomará esta decisión cuando quiera prestar más dinero del que tiene en la actualidad.

2. Pedir prestado dinero al banco central. El banco tomará esta decisión cuando quiera prestar más dinero del que tiene en la actualidad.
3. Incrementar la capacidad de préstamo, creando vacantes. Tomará esta decisión cuando la cantidad de bonos que quiere gestionar el banco sea superior al que puede gestionar con el número de empleados actual.
4. Reducir la capacidad de préstamo despidiendo trabajadores. Tomará esta decisión cuando el banco tenga más de un trabajador y el banco tenga una cantidad de bonos que pueda manejar con menos trabajadores.
5. Cálculo del nivel de riesgo actual y del nivel de reservas objetivo.

Acciones mensuales:

1. Pago del impuesto al beneficio

Banco central

El objetivo del banco central será mantener el índice de precios entorno al 2% mensual. Para ello variará la cantidad de dinero que hay en la economía: inyectará dinero para hacer crecer el IPC (política expansiva) o lo retirará para hacerlo bajar (política restrictiva).

La cantidad de dinero que hay en la economía vendrá dada por dos factores. Por un lado, habrá una cantidad mínima fija de dinero que se repartirá inicialmente entre los agentes. Por otro lado, habrá una cantidad variable de dinero que gestionará el banco central. Esa cantidad variable de dinero se inyectará en la economía a través de préstamos a la banca. Los préstamos tendrán un nominal y plazo fijos e iguales a los de los bonos de deuda de empresas y gobierno. Estos préstamos se emitirán a interés cero pero la cantidad de dinero ofrecida será limitada. Mensualmente el banco central ofertará una cantidad determinada de dinero mediante esos préstamos, si la cantidad ofrecida es mayor que el valor de los préstamos amortizados se estará inyectando dinero en la economía. Si la cantidad ofrecida es menor, se estará restringiendo la cantidad de dinero.

Variables:

1. Cantidad de dinero objetivo.
2. Cantidad de dinero actual.
3. Cantidad de dinero disponible para préstamos.

Acciones operativas: No hay.

65024017 TFG ADE

Programación de sistemas complejos con NetLogo

Acciones estratégicas:

1. Establecer la cantidad de dinero objetivo..

Acciones mensuales: No hay.

Variables de referencia

- Cantidad de dinero. Es una variable que ya se mostraba pero ahora será endógena al modelo. La variable se expresará como un índice de base 100 en el primer mes.
- Cantidad de dinero objetivo. Es una variable que ya se mostraba pero ahora será endógena al modelo. La variable se expresará como un índice de base tomando como base la cantidad de dinero del primer mes.

Eventos

El usuario podrá alterar la economía con los siguientes eventos:

- Incrementar el nivel de riesgo objetivo de los bancos un 10%.
- Decrementar el nivel de riesgo objetivo de los bancos un 10%.

Se han quitado los eventos que incrementaban y reducían la cantidad de dinero ya que con la entrada del banco central tienen un efecto muy limitado.

7.5.3 Modificaciones al diseño

En las primeras ejecuciones el modelo claramente no funcionaba, los bancos no prestaban dinero y las empresas, sin capital suficiente para producir, cerraban.

- Uno de los factores que provocaba eso era la función de riesgos, que cuando la empresa perdía dinero tendía a infinito muy rápido y provocaba que los bancos fueran incapaces de adquirir más bonos. Por ello se ha topado el valor que puede tomar la variable riesgo de las empresas.

$$R = \begin{cases} e^{-\frac{B}{I}} + 1 & \text{si } \frac{B}{I} \geq -2 \\ e^2 + 1 & * \end{cases}$$

Siendo:

- R Riesgo: Siendo 1 el valor sin riesgo y 8,39 el riesgo máximo.
- I Interés mensual ofrecido por la empresa a los bono
- B Beneficio de la empresa

- Otro factor que influía era que al comienzo había demasiados bonos en venta. Eso provocaba un exceso de flujo de dinero para adquirirlos y una escasez temporal de capital productivo en las empresas. Además, los vencimientos de los bonos también coincidían en el tiempo provocando otro desajuste. Esto se ha solucionado haciendo un reparto inicial de bonos y préstamos del banco central durante la configuración del modelo.

Una vez realizados los ajustes el modelo ya tiene un comportamiento adecuado.

7.6. Iteración 5. Mercado de trabajo

7.6.1 Descripción

El mercado de trabajo existía implícitamente desde la primera iteración. Sin embargo, no era un mercado competitivo. Ahora las personas tendrán preferencia por los trabajos mejor remunerados. Además, compararán su salario con el de sus vecinos y en caso de que sea menor podrán decidir abandonar su trabajo actual. Las empresas y bancos buscarán trabajadores con sueldos bajos y cuando despidan empleados despedirán a los que más cobren.

7.6.2 Diseño

Personas

Se modificará el comportamiento de las personas en relación a su trabajo. Por un lado, a la hora de buscar trabajo intentarán trabajar en el agente (empresa, banco o gobierno) que ofrezca más dinero. Como hasta ahora el agente deberá estar dentro del rango de actuación de la persona.

El salario mínimo que estarán dispuestas a aceptar las personas como contraprestación a su trabajo será el del seguro de desempleo. Es decir, las personas no trabajarán si pueden cobrar igual o más estando desempleadas.

Por otro lado, las personas podrán intentar mejorar su sueldo. Las personas tendrán un círculo social con las personas que estén físicamente cercanas en el mundo. Dentro de su círculo social las personas compararán su sueldo y, en caso de cobrar menos que la media de sus vecinos, podrán abandonar su trabajo para buscar otro con mayor sueldo. Esta decisión la tomarán con mayor probabilidad cuanto mayor sea la diferencia entre su sueldo y el de su círculo.

Variables:

Sin cambios.

Acciones operativas:

1. Se modifica la acción de búsqueda de empleo. Si no tiene empleo, buscará empresas con vacantes en su rango de actuación y ocupará la la vacante que ofrezca un mejor salario.

Acciones estratégicas:

1. Si tiene empleo comparará su salario con el salario medio de las personas que estén en parcelas adyacentes. Si su salario es inferior a la media, podrá tomar la decisión de abandonar su empleo actual, la decisión será más probable cuanto mayor sea la diferencia.

Acciones mensuales:

Sin cambios.

Empresas

En el nuevo mercado de trabajo cuando las empresas creen nuevas vacantes estas vacantes tendrán un salario asociado. Cuando se cubran las vacantes se creará una relación de trabajo con el sueldo que se ofrecía. Por ello las empresas tendrán trabajadores con diferentes sueldos dependiendo del momento en el que hayan sido contratados.

A la hora de contratar las empresas intentarán negociar a la baja los salarios. Inicialmente ofrecerán un salario bajo que irán incrementando hasta conseguir cubrir todas las vacantes. Las empresas se impondrán un límite máximo al sueldo que ofrecen para evitar que los costes sean superiores al precio de venta:

$$W_{max} = \frac{P_B \cdot P - C_T}{V}$$

W_{max}	Salario máximo
P_B	Precio de venta de los bienes.
P	Producción actual.
C_T	Costes totales actuales.
V	Número de vacantes.

A la hora de despedir trabajadores, las empresas despedirán primero a aquellos trabajadores que más cobran. De esta forma los costes de las empresas bajarán más rápido que despidiendo los trabajadores al azar.

VARIABLES:

1. Salario: Será el salario ofrecido por la empresa a las personas que cubran las vacantes actuales.

2. Salario máximo: Será el salario máximo que puede ofrecer la empresa a los nuevos trabajadores con sus actuales ingresos y gastos.

Acciones operativas:

1. Si existen vacantes, podrá incrementar el salario ofrecido para intentar atraer a nuevas personas.

Acciones estratégicas

1. Se modifica la acción de incrementar la producción, creando vacantes. La empresa podrá tomar esta decisión cuando la demanda sea mayor que la producción. Además al crear vacantes se les asignará inicialmente un salario inferior al último salario pagado por la empresa.
2. Se modifica la acción de reducir la producción despidiendo trabajadores. La empresa podrá tomar esta decisión siempre que cuente con al menos dos trabajadores y la producción sea superior a la demanda. A la hora de despedir trabajadores, la empresa despedirá primero a aquellos que cobren más
3. Se actualizará el valor del salario máximo que puede ofrecer la empresa en función de los precios y los costes de la empresa.

Acciones mensuales:

Sin cambios.

Gobierno

El gobierno, a diferencia de las empresas, no tendrá una actitud competitiva en este nuevo mercado. Los sueldos de los funcionarios serán constantes en términos reales, es decir, el sueldo ofrecido se actualizará con los cambios en el nivel de precios para que el poder adquisitivo de las personas permanezca constante..

También se va a modificar el seguro de desempleo para que sea constante en términos reales

Variables:

1. Salario: Será el salario nominal pagado por el gobierno.
2. Seguro de desempleo: Será el seguro de desempleo nominal pagado por el gobierno.

Acciones operativas:

Sin cambios.

1. Actualizar el valor en términos nominales del salario y el seguro de desempleo.

Variables de referencia

- Salario. Salario mínimo, máximo y medio. Se mostrarán los salarios mínimo, máximo y medio de las personas empleadas. Se mostrarán como un índice base 100 tomando como referencia el salario de los funcionarios del primer mes.

Eventos

El usuario podrá alterar la economía con los siguientes eventos:

- Incrementar el salario de los funcionarios 5%. Incrementa el salario real de los funcionarios.
- Reducir el salario de los funcionarios 5%. Decrementa el salario real de los funcionarios.
- Incrementar la renta de desempleo un 5%. Incrementa la renta de desempleo real.
- Reducir la renta de desempleo un 5%. Decrementa la renta de desempleo real.

7.6.3 Modificaciones al diseño

El funcionamiento de esta iteración ha sido adecuado prácticamente desde el comienzo. Inicialmente hubo que hacer unos ajustes en los parámetros iniciales que provocaban un pico de demanda inicial que provocaba una espiral inflacionista que elevaba los costes y el desempleo a niveles totalmente inadecuados. Una vez solucionado ese aspecto el modelo se comporta de forma estable.

8. Anexo II. Términos ingleses usados en el código fuente

Activo	Asset
Bono	Bond
Consumo	Consumption
Corriente	Current
Cupón	Coupon
Efectivo	Cash
Gasto financiero	Financial expense
Gasto público (componente del PIB por el método de la demanda)	Public expenditure
Gastos operativos	Operating expenses
Impuesto de consumo	Consumption tax
Impuesto de la renta	Income tax
Impuesto sobre el beneficio	Corporation tax
Ingreso financiero	Financial income
Inversión	Investment
No corriente	Non-current
Pasivo	Liability
Patrimonio neto	Net worth
Plazo	Term
Prestación por desempleo	Unemployment benefit
Ratio de endeudamiento	Debt ratio
Renta de la inversión (componente del PIB por el método de la renta)	Gross Operating surplus
Renta del trabajo (componente del PIB por el método de la renta)	Compensation of employees
Reservas	Reserves
Resultado	Result
Resultado antes de impuestos	Profit before tax
Resultado de explotación	Operating profit
Resultado financiero	Financial profit

Valor nominal	Face value
Variación de existencias	Changes in inventories
Vencimiento	Maturity
Ventas	Sales

9. Anexo III. Medición del riesgo

En este apartado se va a justificar la adopción de esta fórmula para medir el riesgo de una empresa.

$$R = \begin{cases} e^{-\frac{B}{I}} + 1 & \text{si } \frac{B}{I} \geq -2 \\ e^2 + 1 & * \end{cases}$$

Siendo:

- R Riesgo: Siendo 1 el valor sin riesgo y 8,39 el riesgo máximo.
- I Interés mensual ofrecido por la empresa a los bono
- B Beneficio de la empresa

El riesgo de una empresa viene dado por su incapacidad para hacer frente a los gastos, en este caso a los gastos financieros que supone emitir bonos. Por ello la medida parte del beneficio. Cuando mayor beneficio menor riesgo. Para poner en contexto la magnitud del beneficio, es decir, para saber si el beneficio es grande o pequeño, se divide entre el interés mensual que ofrece. Este cociente nos da como resultado el número de bonos que podría adquirir la empresa con el beneficio que tiene.

Ese valor lo queremos convertir en una medida de riesgo, para ello necesitamos transformarlo en un valor que tienda a infinito cuando el riesgo es alto y tienda a cero cuando el riesgo es bajo. Ese tipo de curva se puede obtener con la función e^{-x} .

Esa función ya nos da una medida del riesgo pero necesitamos transformarla para que nos resulte operativa. Los bancos hacen una media ponderada de los riesgos de las empresas, eso resulta problemático porque, al ser una función exponencial, el valor resultante crece muy rápido y provoca que en cuanto haya una empresa con un nivel de riesgo significativo el valor de la media aritmética crezca demasiado rápido. Se han contemplado dos soluciones:

- Hacer una media geométrica. Para ello el nivel de riesgo tenía que estar en el rango de uno a infinito, por eso se le ha sumado uno al resultado de la potencia.
- Limitar el valor máximo que puede tomar la función.

65024017 TFG ADE

Programación de sistemas complejos con NetLogo

Finalmente se ha optado por limitar el valor máximo que puede tomar la función porque incluso con la media geométrica los valores del riesgo crecían demasiado rápido. Se ha tomado como valor límite -2 para el ratio beneficio-intereses ya que con ese valor la empresa es incapaz de asumir el pago de los intereses y el riesgo resultante no distorsiona excesivamente la media. De todas formas se ha mantenido el +1 por si se quiere cambiar el tipo de media a realizar.