JUAN M.C. LARROSA

INTRODUCCIÓN A LA **ECONOMÍA COMPUTACIONAL BASADA EN AGENTES**

» Con aplicaciones en NetLogo

edi UNS

JUAN M.C. LARROSA

INTRODUCCIÓN A LA **ECONOMÍA COMPUTACIONAL BASADA EN AGENTES**

» Con aplicaciones en NetLogo

edi UNS

Larrosa, Juan M.C.
Economía computacional basadas en agentes con aplicaciones en NetLogo. - 1a ed. - Bahía Blanca : Editorial de la Universidad Nacional del Sur. Ediuns, 2012.
216 p. : il. ; 21x15 cm.

ISBN 978-987-1907-15-1

1. Economía. 2. Aplicaciones Informáticas. I. Título
CDD 330

Fecha de catalogación: 25/10/2012

Editorial de la Universidad Nacional del Sur
www.ediuns.uns.edu.ar
ediuns@uns.edu.ar

Red de Editoriales de Universidades Nacionales

Diagramación interior: Alejandro Banegas
Diseño de tapa: Fabián Luzi

No se permite la reproducción parcial o total, el alquiler, la transmisión o la transformación de este libro, en cualquier forma o por cualquier medio, sea electrónico o mecánico, mediante fotocopias, digitalización u otros métodos, sin el permiso previo y escrito del editor. Su infracción está penada por las leyes 11.723 y 25.446.

LIBRO UNIVERSITARIO ARGENTINO

Queda hecho el depósito que establece la ley 11.723

Bahía Blanca, Argentina, agosto 2012.
©2012 Ediuns

A Txopi, mis padres y mis hermanos

INDICE

Prefacio 11
Introducción 13

Parte I. La herramienta teórica

¿Qué es la Economía Computacional basada en Agentes? 21

Introducción 21
Un planificador de agentes: algoritmos evolutivos 32
Modelos basados en agentes en la Economía 34
Formación de capital social 34
Formación de redes 35
Mundos artificiales 36
Redes industriales y de intercambio 37
Hacia una macroeconomía computacional basada en agentes 39
Modelos de interacción micro-macro del mercado de trabajo 40
Modelos basados en agente en Administración 42
Organizaciones 43
Supermercados 44
Cadena de suministros 46
Mercado de estaciones de servicio 48
Conducta del consumidor 51
Telecomunicaciones y difusión de tecnologías 52
Costos y debilidades de la implementación MBA 53

Parte II. La herramienta computacional

NetLogo: conceptos iniciales de programación 61

Introducción 61

Instrucciones 65

Variables 66

Abriendo un archivo de NetLogo 68

Menús 71

Herramientas de control de la simulación 76

Ajuste de parámetros: controles deslizantes e interruptores 76

Recopilación de información: gráficos y monitores 77

Gráficos (Plot) 77

Monitores 79

Gráfico: barra de herramientas de interfaz 79

Sumario de herramientas de control de simulación 80

Parte III. Las aplicaciones

Los vecindarios de Schelling 87

Teoría 87

Aplicación 89

Código analizado 91

El modelo 97

Instrucciones de uso 97

Cuestiones a destacar 98

Pruebas a realizar 99

Modificaciones al código original 101

Oferta, demanda y equilibrio de mercado con agentes con inteligencia cero 103

Introducción 103

Aplicación y código analizado 106
¿Cómo funciona? 120
Cuestiones a destacar 120
¿Qué tan bien predice el modelo? 121
Estática comparativa del ejercicio 122
Ampliar el modelo 123
Cambio en el comportamiento de los compradores y vendedores 123
Cambiar la escala del modelo 124
Conclusiones 125

Los heladeros de Hotelling 127

Introducción 127
Teoría 127
Aplicación y código analizado 131
Cuestiones a probar 142

Formación de equipos de trabajo 143

Introducción 143
Teoría 143
Aplicación y código analizado 145
Código analizado 148
Cuestiones a destacar 159

Parte IV. Conclusiones, recursos y apéndices

Conclusiones y recursos 163

Apéndice 1. Programación en NetLogo 167

Introducción 167
Principios de programación en ambiente NetLogo 169
Agentes 169

Procedimientos 170
Procedimientos con entradas 172
Procedimientos de reportero 173
Variables 173
Variables de agentes 173
Las variables locales 176
Listas 176
Lista de constante 177
Crear lista sobre la marcha 177
Comandos 178

Apéndice 2. BehaviorSpace 183

Pruebas de unidad 183
¿Qué es BehaviorSpace? 184
Para que se utiliza el BehaviorSpace 185
¿Cómo funciona? 186
La gestión de las configuraciones de experimento 187
Creación de un montaje experimental 187
Primitivas especiales para los experimentos BehaviorSpace 192
Ejecución de un experimento 192
Opciones de ejecución: los formatos 193
Ejecutar opciones: corridas en paralelo 194
La observación de las corridas 195

Apéndice 3. Optimización de programación en NetLogo 197

Cosas que no afectan a la velocidad de ejecución en todos los códigos 197
Antes de empezar 198
Principios rectores 198
Ideas de optimización 199
Reducir el número de operaciones 200

Evitar las operaciones inherentemente lentas 202
Engañar al programa 203
La optimización de las listas 204
La optimización de la lectura y escritura de archivos (i/o) 205

Bibliografía 207

Interfaces

Interface 1. Segregation.nlogo 90
Interface 2. ZITrading40.nlogo 109
Interface 3. Hottelling-2008.nlogo 134
Interface 4. Interface Team Assembly.nlogo 148

Figuras

Figura 1. Esquema de un modelo MBA 27
Figura 2. Mundo artificial Sugarscape de Epstein & Axtell (versión de NetLogo) 36
Figura 3. Red de intercambio con incertidumbre en la calidad por Izquierdo y otros (2005) 38
Figura 4. Arquitectura del agente cliente incluyendo características sociales 46
Figura 5. Abriendo un archivo .nlogo y la Models Library (Biblioteca de modelos) de NetLogo 69
Figura 6. Lengüeta interface 70
Figura 7. Lengüeta de información 70
Figura 8. Lengüeta de procedimientos 71
Figura 9. Relaciones entre los procedimientos 96
Figura 10. Relaciones entre los procedimientos 108
Figura 11. Relaciones entre los procedimientos 147

Tablas

Tabla 1. Propiedades asociadas a la definición débil de agente 22
Tabla 2. Enfoques para usar AE en la literatura económica 33
Tabla 3. Opción *file* del menú desplegable 72
Tabla 4. Opción *edit* del menú desplegable 73
Tabla 5. Opción *tools* del menú desplegable 74
Tabla 6. Opción *zoom* del menú desplegable 75
Tabla 7. Opción *tabs* del menú desplegable 75
Tabla 8. Opción *help* del menú desplegable 75
Tabla 9. Resumen de los instrumentos de control de simulación 80
Tabla 10. Esquema de muchos modelos de NetLogo 82

Worlds

World 1. Landscape de una simulación de 2000 agentes y porcentaje de similaridad deseado de 81% 99
World 2. Luego de 38 corridas todos encontraron la felicidad del 60% 100

Prefacio

La digitalización de la información y la alta disponibilidad de diversos paquetes de software para cualquier área que uno pueda imaginarse pueden hacer creer erróneamente que a esa alta disponibilidad de capacidad de cálculo se le está dando un uso extensivo para elaboradas simulaciones en áreas como las ciencias sociales. No es tan así. Lamentablemente.

Un área que promete en el mediano y largo plazo cerrar esa brecha es la modelización basada en agentes. Es una forma de hacer simulación en la que se focaliza el estudio de las interacciones entre agentes y otros entes arficiales creados ad-hoc. Ello hace que sea una herramienta enormemente flexible y abarcativa. Asimismo puede utilizarse para trabajos directamente aplicados (simular la conducta de "consumidores" (agentes programados como tales) circunscriptos a un área copiada de la realidad (la representación digital de un supermercado, por ejemplo). Pero también pueden representarse marco más generales y abstractos que pueden representar un paralelo de un modelo teórico y a través de ello obtener otros análisis respecto a dicho modelo. O puede representarse una situación nunca modelizada previamente pero de la que se pueden extraer respuestas a preguntar respecto a algún desempeño en particular. La imaginación del investigador pone límites a estos modelos.

Yo conocí la modelización basada en agentes en el camino de realizar mi trabajo de tesis de magíster en el programa de Magíster en Computación Científica de la Universidad Nacional del Sur. Sin dudas fue un descubrimiento enormemente estimulante. Pero dicho descubrimiento hubiese quedado en sólo una lectura interesante si no hubiese podido programar un modelo, que es el aspecto básico *sine qua non* de conocer y entender la metodología. Y este paso se dio gracias al descubrimiento del ambiente de programación NetLogo, el cual es fácil de implementar, estimulante y más poderoso de lo que muchos colegas piensan. El libro es el producto simplemente de compartir mi experiencia en ambos campos con el lector.

Este libro fue completamente financiado dentro del marco de los PICT 06 categoría B código de proyecto 1483 otorgado por la Agencia de Promoción Científica y Tecnológica de la República Argentina en el año 2008.

Todos los códigos utilizados en este libro, en caso de no hallarse en las direcciones online citadas, pueden ser solicitadas por correo electrónico <jlarrosa@criba.edu.ar> al autor.

INTRODUCCIÓN

Muchos procesos a nivel macro observados en los sistemas sociales, tales como las multitudes, la sobreexplotación, y la dinámica del mercado de valores, surgen de las interacciones de una multitud de agentes individuales. En este caso, un agente está siendo considerado como un sistema que trata de cumplir una serie de objetivos en un entorno complejo y dinámico. “Agente” en este ambiente puede referirse a una bacteria, a una planta, un insecto, o también a bandadas de pájaros, mamíferos, hogares humanos, empresas o naciones. La modelización basada en agentes (MBA) implica que se diseña un sistema desde cada agente individual y luego observan y analizan sus interacciones. Los agentes se formalizan como tomadores de decisiones sobre la base de sus propios objetivos, de la información que tienen sobre el medio ambiente y sus expectativas respecto al futuro. Los objetivos, la información y las expectativas de un agente están siendo afectados por la interacción con otros agentes. Los agentes son adaptativos, lo que implica que son capaces de cambiar sus estrategias de decisión y en consecuencia su comportamiento.

Las ciencias sociales han evolucionado mediante la adopción de estas nuevas herramientas metodológicas para probar su hipótesis teórica y empírica. En concreto, Economía y Ciencias de la Administración han sido tradicionalmente proclives a avanzar en la exploración del conocimiento a

través de nuevos enfoques para la prueba de hipótesis sobre las estrategias de asignación de recursos y de las organizaciones.

Sin embargo no es sólo una mayor capacidad de procesamiento la que se encuentra a mano de cualquier interesado sino también una mayor velocidad de procesamiento de los procesos debido a CPU (Central Processor Unit) más potentes. El ejemplo del modelo de segregación de Schelling (1971) es esclarecedor. Schelling plantea una grilla en la que se ubican individuos de dos clases que tienen preferencia por vivir en un lugar rodeado de un cierto nivel de vecinos similares a ellos. Una manera directa de resolver este modelo es realizando experimentos. Los trabajos originales de simulación de Schelling se hicieron con una cuadrícula de papel y monedas. Fue partir de la aparición de ambientes de programación basadas en agentes que sus resultados pudieron ser replicados extensivamente a escalas jamás imaginadas por su autor.
Pero había también un problema de la forma los investigadores observaron el mundo. Buscan generalizaciones a partir de datos agregados. Miran agente representativo, el votante medio, el promedio de los promedios. En promedio, los agentes son todos iguales. Pero la realidad nos muestra una imagen diferente y los investigadores podrían imaginar que tal vez las cosas no son tan estilizadas.

MBA refiere entonces a la heterogeneidad de los agentes en forma directa. El sinónimo de la MBA es el modelado microscópico (Bonabeau (2002)) y microscópico significa detalle y diferencia. Los investigadores pueden distinguir explícitamente entre los agentes, modelado de forma adecuada a cada tipo

identificado o familiares de los agentes y hacer que interactúen. La heterogeneidad es en el núcleo de la MBA.

¿Qué aporta este desarrollo a la Economía? Las economías de mercado descentralizadas son subsistemas adaptativos complejos y consistentes un gran número de agentes adaptativos envueltos en interacciones locales paralelas. Estas interacciones locales dan lugar a regularidades macroeconómicas tales como protocolos de mercado compartidos y normas conductuales las cuales a su vez realimentan la determinación de las interacciones locales. El resultado es una dinámica del sistema complicada de cadenas causales recurrentes conectando conductas individuales, redes de interacción y resultados de bienestar social. Dentro de este contexto una variedad de agentes pueden ser creados con capacidad de tomar decisiones autónomas (aunque el número de acciones usualmente es limitado) en un marco de interacción permanente. Por ejemplo, puede diseñarse un agente “consumidor” que puede tener variables relevantes para su conducta como un vector de disposiciones a pagar decreciente por cantidades crecientes de un bien, otro agente “empresario” puede tener un vector de costos marginales asociados a la producción de ese bien, crecientes con las cantidades ofrecidas. Entonces, cada uno tiene información que sólo él conoce y que utilizará para obtener lo que más utilidad le brinde. Un consumidor intentará buscar el precio más barato. El agente empresario intentará vender al precio más caro. La interacción simplemente hará que ambos agentes se contacten entre sí con o sin costos de intercambio. Una vez enfrentados, simplemente realizarán, si es mutuamente beneficioso, el intercambio.

Los investigadores de la economía computacional basada en agentes confían en laboratorios computacionales para estudiar la evolución de economías de mercado descentralizados bajo condiciones experimentales controlando las preocupaciones básicas que conducen a este tipo de estudios: una visión descriptiva focalizada en la explicación constructiva de conductas globales emergentes. ¿Por qué se presentan ciertas regularidades globales y persistentes en economías de mercados descentralizados pese a la ausencia de control y planificación de arriba hacia abajo? ¿Cómo, específicamente, han sido éstas regularidades globales generadas de lo micro a lo macro a través de las interacciones locales repetidas entre agentes interactuantes autónomos?

La segunda preocupación es normativa, focalizándose en el diseño de mecanismos. Dada una entidad económica particular, sea existente o simplemente esquematizada, ¿cuáles son las implicaciones de esa entidad para el desempeño de la economía como un todo? Por ejemplo, cómo afecta una regulación a la actividad económica general. En cualquier caso, sin dudas el MBA tiene un prominente futuro según muchos observadores (Farmer y Foley (2009)).

El propósito de este libro es, en primer lugar, introducir al lector en aspectos teóricos de la literatura de la MBA aplicada a la economía. En segundo lugar, se introduce un ambiente de programación específico para esta metodología para desarrollar el conocimiento aplicado. En ese sentido, se presentan ejemplos y se analiza renglón por renglón de cada código para desenhebrar su significado y sus implicancias en el resultado final de la simulación. Se espera de ese modo ayudar a que el lector replique, modifique y cree nuevos

códigos que sirvan a sus intereses de investigación particular. El libro tiene cuatro partes. La Parte I se ofrece una breve introducción teórica a la MBA en general y su aplicación a la modelización en Economía (y Gestión) en particular.

La Parte II incursiona en un “curso acelerado” en programación para la modelización basada en agentes utilizando el ambiente NetLogo. Esta parte se complementa con tres apéndices al final del libro. El objetivo de esta sección del libro brinda suficiente material para enseñar a los estudiantes los fundamentos de modelización y programación para que puedan pasar a la tercera parte, donde se amplían y profundizan ambos conocimientos. Se introduce también un formato estándar para describir (y, por tanto, pensar y diseñar) modelos basados en agentes, que se utilizará en todo el libro y, cada vez más, en las publicaciones científicas. A medida los estudiantes aprenden los conceptos básicos de programación en NetLogo también se introducen los métodos de pruebas de software: las pruebas del código de nuestros programas es una habilidad científica esencial que debe ser un hábito desde el principio.

La Parte III describe las aplicaciones e incluye cinco capítulos en los que cada uno (a) introduce un concepto básico de modelado basado en agentes y la forma en que dicho concepto se suele aplicar, y (b) refuerza y amplia las habilidades de programación en NetLogo relacionadas con casos aplicados. Se exploran modelos de segregación, de eficiencia de mercado, de competencia geográfica y de formación de equipos. La Parte III hace un uso extensivo de los modelos de ejemplo y ejercicios para ilustrar y desarrollar habilidades de modelado y programación.

La Parte IV, finalmente, resume brevemente las conclusiones generales del libro y se provee de recursos adicionales para los interesados.