

Modelización y simulación discreta para tratar con problemas de toma de decisiones: El problema del Bar El Farol

Marta Ginovart
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
marta.ginovart@upc.edu

Abstract

¿Se puede utilizar la modelización y simulación discreta para investigar como “razonan”, “piensan” o “deciden” los individuos en situaciones “complejas” y no perfectamente delimitadas o controladas? Para dar alguna respuesta a esta pregunta, planteamos una “situación real” para trabajar con los estudiantes. Se introduce en el aula la modelización y simulación discreta como una herramienta para investigar la toma de decisiones y los sistemas adaptativos a través de un conjunto de tareas que giran entorno al siguiente contexto: la ocupación semanal por parte de una población de un recurso público a partir de la decisión individual de ir o no a utilizarlo, con el propósito o deseo de no coincidir con un número excesivo de individuos y siendo la ocupación histórica de este recurso en semanas previas la única información disponible para la toma de esa decisión. Se desarrollan y analizan distintas estrategias de modelización y simulación discreta para implementar en una hoja de cálculo y se generan con ellas experimentos computacionales o simulaciones para tratar con esta situación. Constatando las limitaciones que este tipo de simulación exhibe, se introduce un entorno de programación específico para modelos basados en el individuo (NetLogo) que permitirá proseguir con el estudio de esta situación a partir del problema del Bar El Farol. La valoración final de los estudiantes de esta actividad fue muy positiva, pues descubrieron que lo que parecía inicialmente un problema “intratable”, con la ayuda del ordenador, pasaba a ser un problema abordable, y posible de investigar y analizar.

Can you use discrete modelling and simulation to investigate how individuals “reason”, “think” or “decide” in “complex” situations which are not well defined or controlled? To answer this question, a “real situation” to work on with students is proposed. Discrete modelling and simulation is introduced in the classroom as a tool to investigate the decision making and adaptive systems through a set of tasks that revolve around the following context: weekly occupation of a public resource by a population from the individual decision to go or not, with the purpose or desire not to coincide with too many individuals, and with the historical occupation of this resource in previous weeks being the only information available for making the decision. The students develop and analyse different strategies of discrete modelling to implement in a spread sheet and generate computational experiments or simulations with them in order to deal with this situation. Noting the limitations of this type of simulation displays, a specific programming environment for individual-based models (NetLogo) is introduced to continue with the study of this situation from the El Farol Bar problem. The final assessment of the students’ activity was very positive as they discovered that what initially appeared to be an “unwieldy” problem, with the aid of a computer, going to be a manageable problem, possible to be investigated and analysed.

Keywords: Modelización discreta, simulación, toma de decisiones, problema del Bar El Farol, NetLogo.
 Discrete modelling, simulation, decision making, El Farol Bar problem, NetLogo

1 Introducción

Los métodos de razonamiento que se pueden utilizar en la actividad académica o científica son muy diversos, y cada uno de ellos puede dar respuesta y ser adecuado, según la situación o el problema que se aborde. El método deductivo se corresponde a situaciones en las que el problema que se trata procede de lo general a lo particular. Se presentan conceptos, principios, definiciones o afirmaciones de las que se van extrayendo conclusiones y consecuencias, o se examinan casos particulares sobre la base de las consideraciones previas y generales asumidas. Los métodos deductivos son los que tradicionalmente más se utilizan en el entorno educativo. Sin embargo, para el aprendizaje de estrategias cognitivas estos métodos no son siempre los más adecuados. Es importante que en el proceso de aprendizaje se pueda abogar también por métodos experimentales y participativos. El método inductivo está presente cuando el asunto o cuestión a tratar se presenta por medio de casos particulares, sugiriéndose que se descubra el principio general que los rige. Es el método activo por excelencia que ha dado lugar a la mayoría de descubrimientos científicos. Se basa en la experiencia, en la participación, en los hechos, y posibilita en gran medida la generalización y el razonamiento globalizador.

La racionalidad perfecta, lógica, deductiva es muy útil en la generación de soluciones a problemas teóricos que se plantean en muchas de las áreas científicas. Sin embargo, si nos emplazamos en el ámbito de las ciencias del comportamiento, cuando tratamos con la conducta humana o animal, o cuando queremos abordar situaciones que involucran la toma de decisiones, nos enfrentamos a un tipo de problema en el que el método deductivo no siempre nos conduce a la solución o respuesta que buscamos. Por ejemplo, si queremos investigar, analizar y modelizar situaciones en las que un individuo o agente, en un contexto específico, ha de decidir si moverse o no moverse, actuar o no actuar, usar o no usar, comprar o no comprar..., nos enfrentamos a una situación “compleja” y no del todo bien determinada o definida para que el razonamiento deductivo pueda ser útil. Es entonces necesario e imprescindible apoyarnos en un razonamiento inductivo.

¿Podemos hacer uso de la modelización y simulación discreta para investigar como “razonan”, “piensan” o “deciden” los individuos en situaciones “complejas” y no perfectamente delimitadas o controladas? ¿Nos puede ayudar la computación a tratar con problemas de este tipo? Para dar alguna respuesta a estas preguntas, podemos plantear una situación o problema específico, un contexto “real”, con el que trabajar y avanzar en la comprensión del comportamiento individual y del comportamiento colectivo o poblacional ([2] y [3]).

Supongamos que tenemos una población finita de individuos (M agentes) que pueden hacer uso de un recurso público gratuito cada domingo. Es razonable suponer que si se concentra un número excesivo de individuos para utilizarlo (por ejemplo, por encima de un cierto porcentaje R de esta población) ese uso no será eficiente. Por ello, cada individuo debe decidir el domingo por la mañana si va a ir o no a utilizar ese recurso, pero esa decisión la debe tomar sin poder comunicarse con otros individuos, sin poder saber que van hacer el resto de los individuos de la población. La única información disponible que un individuo puede conocer y utilizar para decidir lo que va a hacer es el número de personas que utilizaron ese recurso las semanas anteriores. Es decir, cada individuo dispone del historial de ocupación o uso de ese recurso (la serie temporal del número de personas que domingo tras domingo han ido acudiendo a ese lugar). Como lo que desea cualquier individuo es no coincidir con un número grande de personas, podría intentar predecir la ocupación futura del recurso y con ello decidir si va a ir o no. Se puede reconocer el patrón de referencia de este tipo de situaciones cuando se aplica a casos como, por ejemplo, coger o no el coche el viernes a la tarde para salir de la ciudad, ir

o no ir a comer a la cafetería del centro donde trabajas o estudias al mediodía, o a cualquier otro problema-situación que tenga límites o restricciones para poder disfrutar de una buena y deseable coordinación en su desarrollo.

El objetivo general de este trabajo es introducir en el aula la modelización y simulación discreta como una herramienta para investigar la toma de decisiones y los sistemas adaptativos a través de un conjunto de tareas que van a girar entorno a la situación presentada: la ocupación semanal por parte de una población de un recurso público a partir de la decisión individual de ir o no ir a utilizarlo, con la propósito o deseo de no coincidir con un número excesivo de individuos y siendo la única información disponible para la toma de esa decisión la ocupación histórica de este recurso en semanas previas. Para ello fijamos dos objetivos específicos:

- Desarrollar y analizar distintas estrategias de modelización y simulación discreta que se puedan implementar en una hoja de cálculo, y generar experimentos “virtuales” para tratar con esta situación.
- Presentar el problema del Bar El Farol, así como la versión disponible que de éste se encuentra implementada en la plataforma multiagente NetLogo, con el fin de analizar y discutir su diseño, su código de computación y los resultados de simulación que de él se obtienen.

El marco de referencia en el que esta actividad se enmarca es el de un aula universitaria, pero podría ser también adaptada para ser utilizada en otros niveles educativos.

2 Material y métodos

¿Como empezar a tratar con el problema de la toma de decisiones?

En primer lugar, y para empezar a tratar con el contexto de la situación que queremos estudiar, vamos a suponer como muestra representativa de una población el conjunto de estudiantes del aula en la que desarrollamos nuestra actividad docente, lo que nos permitirá realizar un experimento previo a la tarea de modelización que nos ocupa.

Asumiremos que los estudiantes de nuestra aula configuran la “población” interesada en el recurso público y que cada uno de los estudiantes decidirá si lo va a utilizar o no de forma independiente y autónoma en las condiciones anteriormente señaladas. Con esta “población” vamos a simular una serie temporal de ocupación del recurso público. Consideraremos, por ejemplo, que la máxima ocupación que permite un buen uso del recurso público es del 60% del tamaño de la población, es decir que un individuo desearía ir si puede predecir una ocupación igual o inferior al 60% del número de participantes del grupo. Así pues, cada estudiante, sin comunicarse con ningún compañero, deberá decidir si va a ir o no a hacer uso de ese recurso. Se recoge en la primera vuelta la respuesta de cada uno de los estudiantes y se da a conocer el número de personas que han decidido ir. Una vez se ha conocido esta primera ocupación, se puede anotar en una hoja de cálculo. Dando publicidad a la ocupación conseguida, se vuelve a solicitar a los estudiantes que decidan si van a utilizar o no ese recurso, de forma que con la recogida de todas las respuestas se obtendrá el siguiente valor de ocupación, y así sucesivamente hasta conseguir una serie temporal de ocupaciones semanales representativa de lo que puede suceder en una situación real. Es importante que a medida que se tengan las ocupaciones previas y se disponga de una ocupación histórica substancial, por ejemplo, por encima de seis ocupaciones, se recuerde a los estudiantes que revisen que estrategias o reglas utilizan, o podrían

utilizar, para realizar una predicción futura de ocupación que les ayudará a tomar la decisión de ir o no ir. Con los resultados de las iteraciones sucesivas se puede confeccionar un gráfico de línea en la misma hoja de cálculo. Con la serie temporal obtenida se puede estudiar si es posible conseguir alguna función o expresión matemática que ajuste a los datos experimentales obtenidos y que permita la predicción de ocupación para semanas futuras.

Es fundamental que los estudiantes reflexionen sobre posibles estrategias, reglas o patrones de comportamiento que pueden utilizar para predecir la futura ocupación del recurso, pues sobre ellas recaerá fundamentalmente la toma de decisiones, ir o no ir en las semanas sucesivas. Se pueden considerar estrategias de distintos tipos, algunas son estrategias deterministas donde la decisión no va a depender del azar, con determinadas ocupaciones previas las decisiones siempre van a ser las mismas, o bien, se pueden utilizar estrategias estocásticas, donde el azar tiene un papel decisivo. Se puede o no utilizar de forma sistemática la información disponible relativa a las ocupaciones en las anteriores semanas, pudiendo utilizar únicamente la información de la semana anterior o un conjunto mayor de datos correspondientes a una historia más larga de ocupación. Así pues es conveniente, para focalizar en el contexto real del problema y las posibles opciones en la futura modelización, confeccionar una lista (provisional) de las distintas estrategias que los estudiantes pueden utilizar. Es ineludible reflexionar sobre si cada estudiante utiliza una estrategia distinta o pueden haber estudiantes que utilicen las mismas estrategias, y si se escoge y se utiliza siempre la misma estrategia o se va cambiando de estrategia a medida que se van analizando los resultados que se van consiguiendo. Todas estas ideas ayudarán a discernir, interpretar y considerar factores significativos que habrá que representar en el proceso de modelización de esta situación planteada.

Si utilizamos las herramientas que hoy en día el ordenador nos proporciona, podremos seguir estudiando esta situación de toma de decisiones a otro nivel, y desde otra perspectiva. Después del diseño de un experimento “real” en el aula, podemos plantear un experimento “virtual” con el uso del ordenador. Se puede establecer un conjunto de individuos o agentes “virtuales” (una población “virtual”) y asumir que estos individuos pueden formar modelos mentales, hipótesis o creencias subjetivas. Estas “construcciones mentales” pueden venir en forma de expresiones matemáticas sencillas que se pueden utilizar para describir o predecir alguna variable o acción, o de modelos o reglas de condición/predicción más sofisticadas (“Si se ha observado la situación A, entonces predecir el resultado o la acción B”). Estas “construcciones mentales” pueden ser subjetivas, es decir, podrían diferenciar a los individuos de la población “virtual” que se establezca.

Modelización discreta y experimentos computacionales en una hoja de cálculo

A partir de la lista provisional de las distintas estrategias que se haya podido obtener previamente (sección anterior), se puede confeccionar una lista definitiva de aquellas estrategias que se puedan implementar en una hoja de cálculo con el fin de obtener resultados simulados de ocupación. La generación de experimentos “virtuales” o experimentos computacionales puede ser realizada con la implementación de estas estrategias previamente definidas en una hoja de cálculo. A partir de los datos históricos de ocupación de semanas anteriores y con la implementación de estas “construcciones mentales” para realizar predicciones de ocupaciones futuras, los individuos de la población “virtual” decidirán si ir o no ir a utilizar el recurso. Es una forma más rápida y cómoda de obtener una batería de resultados con la población “virtual” establecida y controlada en la hoja de cálculo, con todas las características de los individuos que la configuran perfectamente delimitadas.

Por ejemplo, para la ejecución de estos experimentos “virtuales” y la obtención de resultados simulados, podemos crear una población “virtual” de 100 individuos (agentes) y generar series temporales de ocupación para 50 semanas. Si suponemos que una ocupación óptima del recurso no debería ser superior al 60% del tamaño de la población, en nuestro caso vamos a decidir que desearemos ir si la predicción que podamos obtener de la próxima ocupación es inferior a 60 individuos.

Entre otras posibles, algunas de las estrategias que se pueden implementar en una hoja de cálculo para la toma de decisiones, son:

- Estrategia 1: El individuo decide que va a utilizar el recurso público siempre, cada semana, con independencia de la ocupación previa observada (o bien, el individuo decide que no lo va a utilizar nunca).
- Estrategia 2: El individuo decide si lo va a utilizar o no tirando una moneda regular al aire, y en el caso de que salga cara, irá, y en el caso de que salga cruz, no irá.
- Estrategia 3: El individuo decide la utilización del recurso público tirando un dado regular, y como tiene muchos deseos de ir, decide que irá en el caso de obtener un 1, 2, 3 o 4, y no irá si obtiene un 5 o 6.
- Estrategia 4: La persona decide ir si la semana pasada resultó que el uso recurso público no se sobre-ocupó es decir, si acudieron menos personas que el máximo fijado (60 personas). En caso contrario, no irá. Es decir, la predicción que se hace de la futura ocupación coincide con el valor de la semana anterior.
- Estrategia 5: El individuo decide ir si la media de ocupación del recurso de las dos semanas anteriores es satisfactoria, es decir, que en promedio no acudieron más personas que el número máximo fijado. En caso contrario no acudirá. Es decir, la predicción que se hace de la futura ocupación coincide con el valor promedio de las dos últimas semanas.
- Estrategia 6: El individuo decide utilizar el recurso si la media de ocupación de las tres semanas anteriores es satisfactoria, y en caso contrario no acudirá. Otras estrategias podrían ser considerar en el mismo sentido que antes pero con la media de las cuatro últimas semanas (Estrategia 7), o con la media de las cinco últimas semanas (Estrategia 8), o de las seis últimas semanas (Estrategia 9), o de las siete últimas semanas (Estrategia 10).
- Estrategia 11: La predicción de la ocupación del recurso se hace a partir de considerar el valor simétrico-reflejado de la ocupación anterior respecto 50. Por ejemplo, si en la semana anterior se tuvo una ocupación de 43, la predicción de la futura ocupación sería 57. Si la predicción nos da un valor inferior al máximo deseable de ocupación, entonces se decide ir a hacer uso del recurso público.
- Estrategia 12: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo coincide con el valor observado dos semanas antes.
- Estrategia 13: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo coincide con el valor observado tres semanas antes. De la misma manera podemos considerar que la predicción coincide con el valor observado cuatro semanas antes (Estrategia 14) o cinco semanas antes (Estrategia 15).
- Estrategia 16: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo es la simétrica-espejo respecto 60. Por ejemplo, si en la semana anterior se tuvo una ocupación de 66, la

predicción de la futura ocupación sería 54. Es decir decidiría utilizar el recurso si la semana anterior se hubiera registrado sobre-ocupación.

- Estrategia 17: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo es la media ponderada de los valores observados las dos semanas antes, donde los “pesos” que se utilizan son 0.75 para la semana anterior, y 0.25 para la semana anterior a la anterior.
- Estrategia 18: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo es la media ponderada de los valores observados las tres semanas antes, donde los “pesos” que se utilizan son 0.50 para la semana anterior, y 0.25 para las dos semanas anteriores a la anterior.
- Estrategia 19: La predicción de la ocupación futura que hace el individuo es la media ponderada de los valores observados cuatro semanas antes, donde los “pesos” que se utilizan son 0.50 para la semana anterior, y 0.20 para las dos semanas anteriores a la anterior, y 0.10 para la semana que queda.

Otras estrategias de predicción se pueden presentar como una lista de “pesos” que determina la forma en que el individuo cree que los datos históricos de cada período de tiempo afectan a la predicción de la asistencia de la próxima semana. En el caso de considerar varios valores históricos, se necesitarían tantos pesos como valores previos queramos involucrar en la media ponderada de las ocupaciones anteriores. Por ejemplo, la Estrategia 20 podría ser utilizar los pesos 0.40, 0.30, 0.15 y 0.15 con las últimas cuatro ocupaciones (variante de la Estrategia 19).

Se pueden utilizar diferentes escenarios de simulación para observar los resultados de este experimento computacional, como por ejemplo:

- ◀ Escenario 1: Todos los individuos tienen la misma estrategia para decidir si van o no a usar ese recurso, y esta estrategia no la cambian, se mantiene fija durante todas semanas.
- ◀ Escenario 2: No todos los individuos utilizan la misma estrategia para decidir. Por ejemplo, se puede suponer que coexisten de forma equitativa dos estrategias distintas entre la población. Se asignará al 50% de la población “virtual” la Estrategia A y al otro 50% de la población la Estrategia B, y las estrategias asignadas se mantendrán durante todas las semanas.
- ◀ Escenario 3: Como en el caso del Escenario 2 pero asumiendo que se pueden tener asignadas 4 estrategias distintas, Estrategia A, Estrategia B, Estrategia C y Estrategia D repartidas uniformemente entre la población “virtual”.
- ◀ Escenario 4: Se va a suponer que a cada uno de los individuos de la población se le asigna una de las 10 estrategias distintas que se tienen prefijadas, y el reparto se hace forma equitativa. Es decir, cada una de las 10 estrategias prefijadas será utilizada por 10 individuos de la población.

Con la implementación y generación de los distintos escenarios en la hoja de cálculo (representando diversas poblaciones “virtuales”), y utilizando diferentes estrategias o reglas para la toma de decisiones individuales, conseguiremos un conjunto de simulaciones que nos orientarán en el estudio de los mecanismos implicados en esta situación que investigamos. Las series de ocupaciones que se obtengan se analizarán para conseguir, por ejemplo, medianas y medias de ocupaciones, desviaciones típicas, coeficientes de variación para valorar dispersión o variabilidad, y porcentajes de sobre-ocupación y de sub-ocupación (ocupación por encima y por debajo del 60% del tamaño de la población). Con los gráficos de las series temporales resultantes

se valorará la existencia de comportamientos cíclicos o periodicidades, así como de tendencias específicas a lo largo del tiempo.

En las simulaciones que se generarán con este tipo de construcción en hoja de cálculo, cada uno de los individuos tiene asignada una estrategia y la mantiene durante todo el experimento. No obstante, para generar otros tipos de escenarios de simulación más plausibles que permitirían seguir investigando esta situación, sería necesario considerar el hecho de que un individuo pueda tener la capacidad de almacenar o controlar simultáneamente más de una estrategia, y que pueda disponer de algún mecanismo que le permita decidir que estrategia utilizar en cada caso o discernir que estrategia trabaja bien y cual no para escoger una u otra. Por ejemplo, un individuo que tenga varias estrategias disponibles o asignadas, para decidir si va o no a utilizar este recurso público debería de disponer de algún mecanismo para generar el criterio sobre como escoger la “mejor” estrategia de entre las que él puede usar para tomar esa decisión. Por ejemplo, cada semana, cada uno de los individuos podría realizar un seguimiento del comportamiento o respuesta que cada una de sus estrategias le hubiera dado “versus” las ocupaciones conocidas. Haciendo uso de la ocupación histórica que ya se conoce hasta ese momento, el individuo podría escoger aquella estrategia que se hubiera comportado mejor con las condiciones conocidas hasta entonces (comparando observaciones futuras predichas por las estrategias y observaciones finales “reales”), y tomaría la próxima decisión con aquella estrategia que le hubiera proporcionado mayor “credibilidad” o confianza. Las demás estrategias se mantendrían almacenadas, pero sin utilizarse por el momento. Para cada una de las semanas, una vez que todas las acciones individuales del sistema se hubieran realizado, se obtendría una nueva configuración del sistema (historia previa junto con la última ocupación contabilizada), de forma que con esta nueva configuración todos los individuos volverían a actualizar el análisis de la fiabilidad de sus estrategias, calcularían sus predicciones con la mejor “estrategia” y volverían a decidir. Esta manera de proceder se podría repetir de semana en semana. Se trataría de un sistema en el que el “aprendizaje” tendría lugar, los individuos “aprenderían” cuales de sus estrategias trabajan bien y podrían descartar aquellas que tuvieran una actuación deficiente, posibilitando por tanto la generación de nuevas “ideas” ([1]). Es indiscutible que la implementación de este tipo modelo basado en el individuo, con un conjunto de estrategias para poder escoger aquella que “mejor” parece funcionar con las observaciones y predicciones, no parece viable en una hoja de cálculo.

Problema del Bar “El Farol” en NetLogo

El problema del Bar “El Farol” es un problema planteado en el marco de la teoría de juegos. Se basa en una anécdota real acontecida en un bar de la ciudad de Santa Fe (Nuevo México) llamado “El Farol” y fue esbozado inicialmente por el economista Brian Arthur en 1994. El planteamiento del problema es como sigue, en Santa Fe hay un número finito de personas y el jueves por la noche todo el mundo desea ir al Bar “El Farol”. Sin embargo, “El Farol” es un local muy pequeño y no es agradable ir si está repleto de gente. Si por ejemplo, menos del 60% de la población va a ir al bar, entonces es más divertido ir al bar que quedarse en casa, en caso contrario es menos divertido ir al bar que quedarse en casa. Lamentablemente, todo el mundo necesita decidir si ir o no ir al bar al mismo tiempo y no es posible esperar para ver cuantas personas antes que ellos han decidido ir. La única información disponible para decidir si ir o no ir es el número de personas que fueron las semanas previas. El modelo desarrollado por Arthur (1994) explora lo que sucede con la asistencia al Bar de estos populares jueves por la noche, ya que los usuarios utilizan diferentes estrategias para determinar qué tan lleno piensan que el Bar estará. Esta situación se corresponde con la presentada como objeto de estudio en este trabajo.

Netlogo (<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>) es un entorno de programación multiagente que permite la simulación de fenómenos tanto naturales como sociales. Fue creado por Uri Wilensky en 1999 y está en continuo desarrollo por el Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling en Estados Unidos ([7]). La plataforma NetLogo está especialmente concebida para la implementación de modelos discretos, específicamente para modelos basados en agentes o modelos basados en el individuo. Es un entorno ideal para ser utilizado en la enseñanza de las ciencias en general, y en particular, para abordar el estudio de sistemas formados por seres vivos ([4] y [5]). Netlogo puede articular todas las instrucciones dadas a cientos o miles de individuos para que todos ellos operen de manera independiente, entre sí y con el entorno. Este entorno de programación o plataforma de trabajo también incluye una galería de modelos pertenecientes a áreas temáticas muy diversas, que pueden ser ejecutados de forma inmediata, a la vez que modificados si se accede a su código de computación (“Models Library”). Estos modelos disponibles vía web están destinados a ser ejemplos de buenas prácticas de codificación y documentación.

En la sección “Social Science” de “Models Library” de NetLogo podemos encontrar una implementación de un modelo para tratar con el problema del Bar “El Farol”. Al abrir este modelo computacional (“El Farol”) encontramos la ventana “Interface”, la parte más atractiva de simulador ya que en ella se muestra cómo es y lo que sucede a lo largo de la simulación (Figura 1). Las partes principales de la ventana “Interface” son:

- (i) barra de control de la velocidad de simulación,
- (ii) botón “setup” ,
- (iii) botón “go”, y
- (iv) “sliders”.

El botón “setup” se utiliza para iniciar o reiniciar el modelo, actualiza el estado inicial del sistema para comenzar la simulación, y el botón “go” ejecuta la simulación. Los datos de salida o los resultados simulados se pueden ir siguiendo con los gráficos que contiene esta ventana (1). Los “sliders” permiten la creación de rangos de valores para parámetros o variables del modelo. Modificando los valores de entrada de la simulación se crean sistemas con características o propiedades distintas.

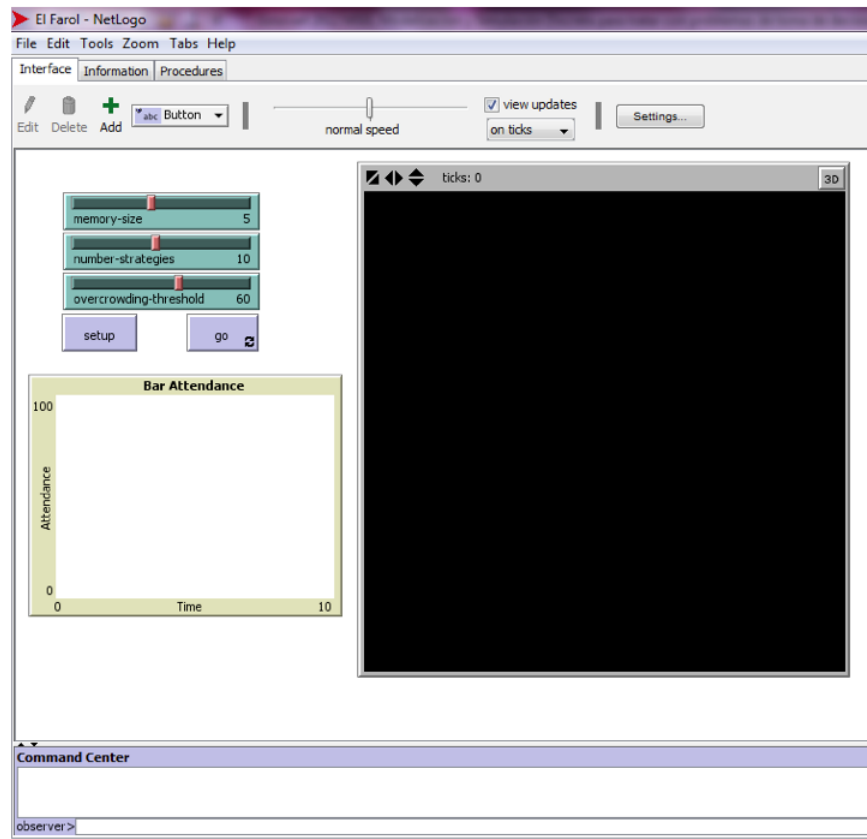


Figura 1: Vista de las partes básicas de la ventana “Interface” del modelo para tratar con el problema del Bar “El Farol” implementado en la plataforma NetLogo.

Además de la ventana Interface de NetLogo, existen las ventanas “Information y Procedures”. La ventana “Information” contiene documentación correspondiente al modelo que se encuentra implementado y responde a preguntas como: i) ¿Qué es?, ii) ¿Cómo trabaja?, iii) ¿Cómo utilizarlo?, iv) Cosas interesantes de hacer notar o de probar, o v) Referencias a otros modelos relacionados con él o publicaciones que tratan sobre él. En la ventana “Procedures” encontramos el verdadero corazón del modelo computacional, el código de programación, el conjunto de procedimientos que se están ejecutando durante la simulación (Figura 2). En ella se encuentran implementadas las acciones y reglas de comportamiento de los individuos que han sido conceptualmente diseñadas en el modelo. Todos los elementos de la ventana “Interface” funcionarán gracias a la programación en la ventana “Procedures”.

De manera esquemática, el modelo que se encuentra implementado en el código de computación del simulador “El Farol” en la plataforma NetLogo:

- Considera un conjunto de tres parámetros que se pueden variar en cada simulación desde la ventana interactiva.
- Asigna a cada uno de los individuos de la población un conjunto de potenciales estrategias para utilizar en la predicción de la futura ocupación del Bar El Farol.
- Determina un criterio para que cada individuo pueda escoger la “mejor” estrategia entre las que tiene asignadas, en cada una de las semanas, para realizar la próxima predicción de ocupación.

Un individuo irá al Bar “El Farol” la noche del jueves si cree que no encontrará más que un cierto número de personas allí, el valor que se asigne al parámetro “overcrowding-threshold” de la ventana “Interface”. En cada semana, cada individuo, para predecir la presencia de individuos en el Bar (la futura ocupación) utilizará una única estrategia de entre las que tenga asignadas. Deberá decidir que estrategia usar mediante la inspección y comparación de lo que hubieran predicho las distintas estrategias con los datos de que dispone en relación a las ocupaciones del Bar (ocupaciones predichas y ocupaciones observadas). Su elección se basará en la capacidad o habilidad para la predicción que muestren las diferentes estrategias que él puede gestionar. Aquella estrategia que “mejor” se comportase sería la que se utilizaría para la predicción de la siguiente semana. Se puede variar el número de estrategias potenciales de ser usadas y que son asignadas inicialmente a los individuos con el parámetro “number-strategies” de la ventana “Interface”. Las estrategias se crean al inicio de la simulación y se distribuyen al azar entre los individuos de la población antes de comenzar la evolución del sistema (“setup”). La longitud de la historia de ocupaciones previas que se utilizan para una predicción y evaluación de una estrategia está dada por el tamaño de la memoria histórica, memory-size, otro de los parámetros que también puede ser especificado en la ventana “Interface”. Así pues, para utilizar el simulador, se deben especificar los valores de los parámetros memory-size (desde 1 hasta 10), “number-strategies” (de 1 a 20) y “overcrowding-threshold” (de 1 a 100), siendo 100 el número de individuos que configuran la población “virtual”.

En esta versión implementada del modelo, una estrategia de predicción se representa como una lista de “pesos” que determina la forma en que el individuo cree que los datos históricos de cada período de tiempo afectan a la predicción de la asistencia de la próxima semana. Esta definición de estrategia se basa en una implementación del modelo de Arthur (1994) en su forma revisada por Fogel et al. (1999), [6]. El conjunto de estrategias que utilizarán los individuos se generan de forma aleatoria. Cada estrategia consiste en un promedio ponderado de las asistencias históricas, siendo los “pesos” que intervienen en esta ponderación un juego de valores del intervalo $[-1, 1]$ escogidos aleatoriamente y que determinan cuánto énfasis se pone en cada período de tiempo anterior al hacer la predicción de la asistencia para el próximo período de tiempo. Un individuo, para escoger la estrategia de entre las que tiene asignadas que utilizara en su predicción, tiene que determinar cual es la que habría predicho los mejores resultados si se hubiera usado en este momento. En este caso, el criterio de elección será escoger aquella estrategia para la que la suma de las distancias (diferencia en valor absoluto) entre la asistencia “real” y la asistencia “pronosticada” para cada una de las semanas previas controladas por la memoria histórica sea menor.

The code is color-coded: keywords in blue, comments in grey, and other elements in black. The window also has a toolbar with 'Find...', 'Check', and a 'Procedures' dropdown menu. A checkbox for 'Indent automatically' is checked.

Figura 2: Vista parcial de la ventana “Procedures” que muestra una parte del código de programación del modelo “El Farol” implementado en la plataforma NetLogo.

Con la inicialización del sistema (“setup”) se puede comenzar la ejecución del simulador (“go”) y observar cuales son las asistencia al Bar “El Farol” en los sucesivos jueves. En la ventana “Interface”, la asistencia semanal se representa con un gráfico de línea que se actualiza continuamente, y el desplazamiento de los individuos hacia el Bar cada semana se puede visualizar con una animación en un espacio bidimensional (Figura 1). Se pueden realizar distintas simulaciones ejecutando el simulador con diferentes valores para el tamaño de la memoria histórica que controlan las estrategias y modificando el número de estrategias que puede gestionar un individuo. La observación de las salidas o resultados de simulación, con su posterior análisis,

permiten estudiar la evolución del sistema. Preguntas como ¿Qué pasa con la variabilidad (dispersión) en la asistencia u ocupación del “El Farol” a medida que disminuye el número de estrategias posibles que un individuo puede manejar? o ¿Qué pasa con esta variabilidad si se disminuye el tamaño de la memoria histórica que utilizan las estrategias para predecir? pueden ser investigadas con comodidad con este simulador.

Una vez se comprende y se maneja correctamente el código de computación implementado en este simulador de NetLogo (Figura 2) y se conocen los detalles de su funcionamiento, se pueden imaginar cambios o variantes a introducir. La implementación de diferentes versiones del modelo o extensiones de éste en el código de programación NetLogo permitiría seguir estudiando el problema del Bar El Farol, así como otros problemas relacionados con la toma de decisiones por parte de individuos. El contexto de esta toma de estas decisiones individuales y condicionadas por la respuesta del conjunto o el comportamiento global del sistema permite iniciar el estudio de los sistemas adaptativos, sistemas que deben adaptarse al entorno en el cual se desarrollan y evolucionan. La modelización y simulación discreta es pues una buena opción para tratar con estos sistemas.

Resultados y discusión

La actividad diseñada a partir del material docente elaborado para investigar la toma de decisiones y los sistemas adaptativos se desarrolló dentro de la asignatura “Programación y resolución de problemas”, asignatura obligatoria de tercer año en un grado de Ingeniería de Biosistemas de la Universitat Politècnica de Catalunya. (<http://www.esab.upc.edu/estudis/graus-biosistemes>). Se desplegó en el laboratorio informático y durante tres sesiones de dos horas de duración cada una. A los estudiantes se les proporcionó el material docente confeccionado a partir de las ideas anteriormente expuestas (Introducción y Material y métodos), y de forma individual y autónoma fueron desarrollando las tareas relacionadas en su contenido. Cada estudiante, con las respuestas que iba obteniendo elaboró su informe escrito que entregó al finalizar la actividad. A pesar de ser concebido como un trabajo individual, pues se pretendía fomentar la actividad como principio (se aprende haciendo y el alumno es el protagonista), durante las sesiones en el laboratorio informático se pudieron intercambiar comentarios, consultas y sugerencias con el profesor que se encontraba en el aula, y entre los mismos compañeros, siempre que se considerasen necesarias o convenientes.

Los resultados de la primera parte de esta actividad (Sección: ¿Como empezar a tratar con el problema de la toma de decisiones?) corresponden a la primera fase de todo proceso de modelización: la identificación, definición y comprensión del problema que se va a tratar. A partir del experimento “real” generado con los propios estudiantes del aula, y observando la serie temporal de las ocupaciones semanales que surgió, se constató que no se reconocía ninguna tendencia específica ni se identificaba ninguna función matemática que pudiera ser ajustada a esos valores observados experimentalmente. Los estudiantes tomaron conciencia de la situación a tratar, tuvieron la oportunidad de reflexionar sobre sus propias estrategias o reglas para la toma de decisión de ir o no ir a utilizar el recurso, y meditaron sobre como examinaban y consideraban las ocupaciones previas para esa toma de decisión. Se puso de manifiesto que algunos de los estudiantes no habían desarrollado ninguna estrategia que supusiera el análisis de datos previos, pues desde el inicio habían decidido ir siempre o bien habían decidido no ir nunca, sucediera lo sucediera. No obstante, la mayoría de los estudiantes si que consideraron los datos de ocupaciones previas que se habían ido generando para tomar la siguiente decisión. La mayoría de las estrategias que comentaron los estudiantes fueron de tipo deterministas, no obstante algunos sugirieron el uso de monedas o dados para decidir, de forma que también estrategias estocásticas fueron debatidas en el grupo. Después de este primer acercamiento al

problema se procedió a la enumeración y descripción de posibles estrategias para la toma de decisiones con el fin de elaborar una lista provisional con la que seguir trabajando de forma conjunta. No fueron muchas las estrategias que los estudiantes fueron capaces de formular en esta primera etapa de la actividad, pero lo que sí que se confirmó es que no todos los estudiantes habían utilizado la misma estrategia para decidir (hecho obvio, y que ya sugiere que estamos ante un problema no trivial). Todas estas reflexiones al entorno del experimento realizado ayudaron a los estudiantes a ir descifrando los distintos factores involucrados en un posible proceso de modelización para esta situación o contexto real, y cuales podrían ser las variables de interés sobre las que trabajar.

En relación con los resultados de la segunda parte de la actividad (Sección: Modelización discreta y experimentos computacionales en una hoja de cálculo), no todos los estudiantes mostraron la misma habilidad en la implementación en la hoja de cálculo de la lista de estrategias que se adjuntó, ni en la generación y manejo de los diferentes escenarios que se discutieron. La hoja de cálculo mayoritariamente utilizada fue la del Excel, y se confirmó que no todos los estudiantes sabían aprovechar de la mejor manera las opciones y ventajas que este programa tiene. La Figura 3 muestra un captura de pantalla donde se puede observar la estructura creada en la hoja de cálculo para generar experimentos “virtuales”, donde cada una de las filas corresponde a un individuo de la población “virtual” y cada columna se corresponde a una semana. En las celdas se recogen las decisiones de los individuos de ir o no ir cada semana a utilizar el recurso (0: no ha ido, 1: sí que ha ido). Con las herramientas que proporciona la hoja de cálculo se realizó la formalización matemática de las estrategias de predicción y decisión de la lista elaborada (20 estrategias). En el caso de trabajar con el Escenario 1, en la hoja de cálculo se implementaba una única estrategia, y si se trabajaba con los otros tipos de escenarios, se implementaban distintas estrategias repartidas entre las 100 filas, los 100 individuos de la población “virtual” (Figura 3). En el caso de aquellas estrategias que requerían para su implementación de ocupaciones previas sobre las que basarse, se usó la generación de resultados aleatorios como punto de arranque. Por ejemplo, la estrategia “decidir no ir si la media de ocupación de las dos semanas anteriores ha sido superior a 60”, requiere conocer los resultados de las dos primeras semanas para poder arrancar con esta condición. En este caso se procedió a generar dos semanas de ocupación aleatoria para iniciar la implementación de la estrategia, utilizando la generación de números aleatorios entre 0 y 1 en cada una de las celdas de las dos primeras columnas con el procedimiento: *if random < 0.5 then 1 else 0* (IF(RAND()< 0.5; 1;0). Se recogían las ocupaciones de las 50 semanas sumando los valores almacenados en cada una de las 50 columnas establecidas, y el conjunto de valores conseguidos se representaban gráficamente con líneas poligonales. Se calcularon algunos resúmenes estadísticos simples de las ocupaciones semanales que nos informaron sobre la tendencia central (media y mediana) y la variabilidad del conjunto de valores simulados (desviación típica y coeficiente de variabilidad). Completando los resúmenes numéricos, y como otra medida descriptiva para caracterizar cada una de las series temporales obtenidas, se calculó el porcentaje de semanas en que hubo sobreocupación, tanto en el caso de tener una única estrategia (Escenario 1) como para la combinación de las distintas estrategias escogidas en los Escenarios 2, 3 y 4.

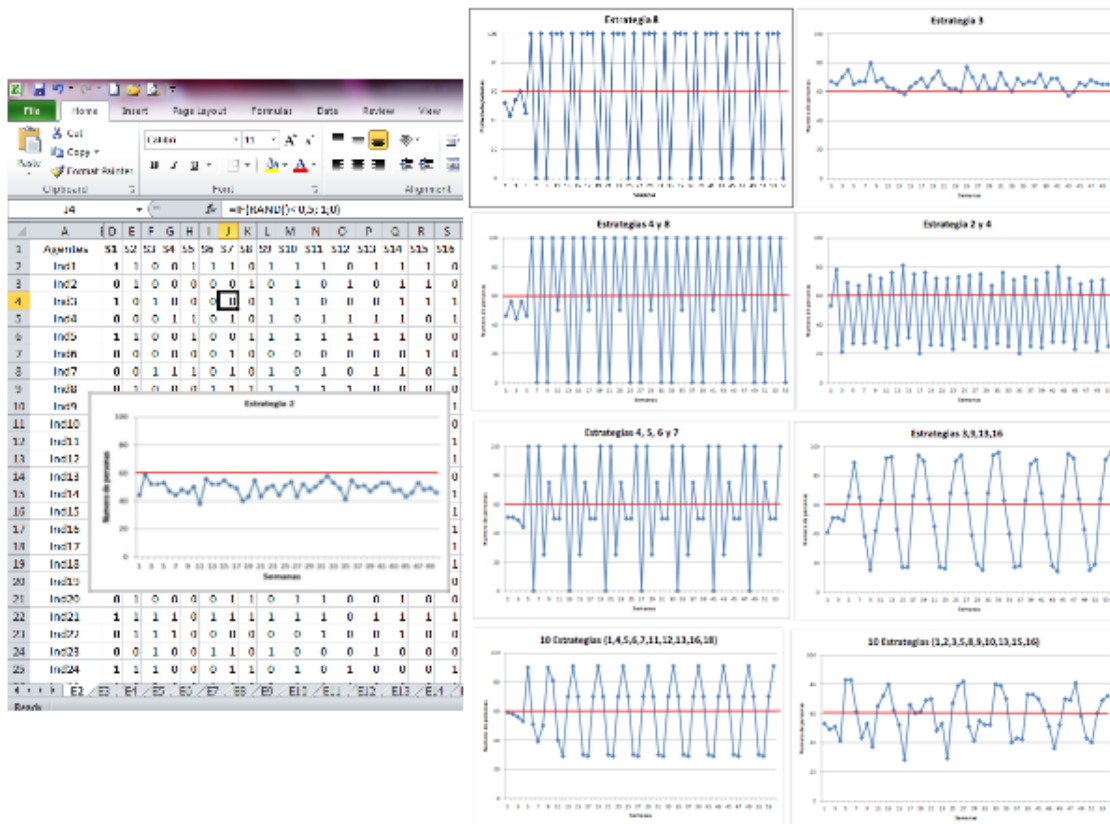


Figura 3: Vista parcial de la hoja de cálculo diseñada para generar experimentos “virtuales” de ocupación del recurso con la implementación de estrategias para la toma de decisiones (izquierda), y algunas de las series temporales obtenidas para esta ocupación que resultan de considerar distintos escenarios de simulación, con una única estrategia, o coexistiendo dos, cuatro o diez estrategias en la población (derecha y de arriba a abajo respectivamente).

Los experimentos computacionales generados en la hoja de cálculo dieron resultados muy diversos según las estrategias utilizadas. En algunos casos el recurso fue mayoritariamente infrautilizado o sobreutilizado, mientras que en otros casos fue alternando sistemáticamente su nivel de ocupación (Figura 3). Las simulaciones que respondieron mejor a la ocupación del recurso, es decir, las que dieron resultados más próximos a 60 personas y que oscilaban al entorno de este valor sin grandes desviaciones correspondieron a las del Escenario 4, las que disponían de 10 estrategias distintas entre los individuos de la población y que combinaban tanto estrategias deterministas como estrategias estocásticas. Esta coexistencia de los dos tipos de estrategias entre la población es la que se intuye que trabaja mejor, proporcionando un modelo más adecuado para representar este sistema y tratar con esta toma de decisiones. Se constata que es necesario mezclar diferentes estrategias entre los individuos para permitir un comportamiento poblacional “virtual” más eficiente. Al mismo tiempo, la incorporación de alguna estrategia estocástica da lugar a un comportamiento poblacional que refleja mucho mejor la realidad social que conocemos. Las personas de una población no forman parte de un “mecanismo de relojería”, actuando siempre de la misma manera, algunas veces sus acciones son fruto del azar, imprevisibles o no racionales. Así pues, con estas evoluciones temporales generadas en la hoja de cálculo se aprendió a valorar de forma muy positiva la introducción del azar en este tipo de problema. No se observaron, generalmente, en el conjunto de combinaciones realizadas por los estudiantes series temporales que con el transcurso de las semanas se fueran acercando o

tendiendo al óptimo de la ocupación (60 individuos).

En relación al Escenario 1, donde hay implementada una única estrategia para todos los individuos de la población, y cuando ésta no es una estrategia estocástica, es interesante comentar las conclusiones a las que algunos de los estudiantes llegaron, y que de forma muy acertada supieron exponer. Un aspecto transcendental a destacar de este escenario de simulación es el que todos los individuos tienen la misma estrategia determinista para decidir, es que no importa cual sea esta estrategia determinista, ni si es muy simple o sofisticada, si todos los individuos de la población usan la misma regla para predecir, está garantizado que el método será del todo ineficaz. Si todo el mundo usa el mismo procedimiento y éste sugiere que el recurso no estará saturado, entonces todo el mundo acudirá, por lo que el recurso se saturará. Análogamente, si éste sugiere que el recurso estará saturado, entonces nadie acudirá y, por lo tanto, el recurso estará vacío, no se aprovechará. El mismo análisis podríamos aplicar al dilema que enfrentan cada domingo miles de conductores tratando de evitar los atascos en las carreteras de entrada a las grandes ciudades. Si todos usan el mismo método para decidir cual será la mejor hora para llegar a su ciudad, indefectiblemente todos caerán en el atasco. Pero la situación sería muy distinta en el caso de que los conductores utilizaran distintos métodos para decidir, ya que obtendrían resultados diferentes, situación que se corresponde con los Escenarios 2, 3 o 4 de simulación previamente presentados.

Es de vital importancia en este contexto de modelización decidir si los individuos pueden aprender observando lo que sucede, es decir, si tienen capacidad para poder considerar su comportamiento anterior y mejorar en el futuro su toma de decisiones, o si por el contrario, con independencia de lo que haya sucedido en sus anteriores actuaciones, siempre se van a comportar de la misma manera. Por ejemplo, si un individuo hubiera tenido mala suerte, tendría asignada una estrategia que no trabajaría nada bien, con lo que sus predicciones sean siempre nefastas, y por lo tanto, su toma de decisiones resultaría siempre desacertada. De la manera en que se ha modelizado la toma de decisiones en la hoja de cálculo, este individuo no tendría la posibilidad de mejorar, pues no hay la opción de cambiar de estrategia una vez ésta ya ha sido asignada. Sería importante imaginar la posibilidad de modelizar algún mecanismo que permitiera adaptarse a lo que está sucediendo, para poder “aprender” a realizar mejores predicciones y tomar decisiones más acertadas, es decir, para que los individuos pudieran ir perfeccionándose.

Con el uso de la hoja de cálculo, los estudiantes constataron las limitaciones que presentaba esa vía para poder avanzar en la comprensión de lo que sucede en un sistema adaptativo real como el que queremos estudiar, un sistema que intenta adaptarse al entorno en el cual se desarrolla para poder mejorar. La presentación de una plataforma de programación específica como NetLogo para tratar con este tipo de modelo discreto basado en agentes fue recibida por los estudiantes con gran interés y fue muy valorada (Sección: Problema del Bar “El Farol” en NetLogo). El simulador “El Farol” respondió satisfactoriamente a las necesidades surgidas hasta ese momento para seguir avanzando en la comprensión y análisis de la situación que estábamos modelizando. La posibilidad de conocer nuevos elementos en el ámbito de la computación para trabajar con las cuestiones pendientes comentadas anteriormente, arrojó mayor luz sobre el problema, sorprendió y motivó enormemente a los estudiantes. En ese momento ellos ya eran conocedores de lo que significaba implementar y trabajar con experimentos computacionales, y eran conscientes de las ventajas y desventajas de una hoja de cálculo. El hecho de encontrar el modelo del problema del Bar el “El Farol” ya implementado en un entorno de programación específico, y listo para ser ejecutado, facilitó enormemente la entrada a este tipo de modelización y simulación discreta basada en agentes o en el individuo.

Una vez se comprendió y asimiló la estructura del modelo computacional y la manera de funcionar del simulador (Figuras 1 y 2) se prestó atención a su salida, la cual dependía de los diferentes valores de los parámetros de entrada controlados en la ventana “Interface”: el tamaño de la memoria histórica de las ocupaciones previas que controlan las estrategias, el número de estrategias que tiene asignadas un individuo para gestionar y poder escoger cada semana, y la capacidad óptima-límite del Bar. En primer lugar, con los valores que por defecto el simulador tiene asignados para estos parámetros de entrada, se visualizaron los resultados simulados en un entorno muy atractivo y cómodo para interaccionar (Figura 4). Manteniendo el mismo juego de valores para estos parámetros de entrada (cada individuo disponía de un conjunto de 10 estrategias para utilizar con una memoria histórica de 5 ocupaciones previas, y una capacidad óptima-límite de 60 personas) las evoluciones temporales que surgieron en sucesivas ejecuciones o replicaciones del sistema no fueron iguales, llegando en algunas realizaciones a generar dinámicas con comportamientos o patrones claramente diferentes (Figura 5). Fundamentalmente esto se explica por la asignación individual de las estrategias que se hace inicialmente entre los individuos de la población, combinaciones lineales de ocupaciones previas con coeficientes o “pesos” que son valores sorteados con distribución aleatoria uniforme entre 0 y 1. Estos valores aleatorios establecen estrategias distintas para cada individuo que condicionan el arranque de la simulación, las primeras predicciones y toma de decisiones, y a la larga, determinan la dinámica que responde a estas primeras observaciones, proporcionando un conjunto muy variado de series temporales de asistencias al Bar como muestra la Figura 5 con 110 semanas simuladas. Con el conjunto de estrategias implementadas en el simulador “El Farol”, se puede estudiar la variabilidad de la serie temporal de ocupaciones al entorno del valor óptimo-límite de 60 individuos, la cual depende de la magnitud de los valores asignados a los parámetros de entrada. Por ejemplo, manteniendo fija la memoria histórica de ocupaciones previas igual a 5, la variabilidad en la asistencia al Bar aumenta al incrementar el número de estrategias que un individuo puede utilizar, como se observa en la Figura 6. Por otro lado, la variabilidad en la ocupación del Bar disminuye en aumentar el tamaño de la memoria histórica. Por ejemplo, manteniendo un valor fijo igual a 10 estrategias diferentes asignadas para cada individuo, en la Figura 7 se observa cómo se reduce la variabilidad o dispersión de las series temporales simuladas al entorno del valor óptimo-límite de 60 individuos cuando el número de ocupaciones previas que utilizan las estrategias aumenta. No obstante, después de haber ejecutado un gran número de simulaciones, los estudiantes fueron conscientes de que las series escogidas para mostrar cómo se modifica la variabilidad de la serie temporal al cambiar estos parámetros de entrada (Figuras 6 y 7) eran únicamente muestras representativas del comportamiento “típico” que exhibe un modelo computacional estocástico con esa combinación de valores (Figura 5). Fueron conocedores de lo que significaba trabajar con simulaciones, con modelos computacionales que no admiten un tratamiento o desarrollo analítico.

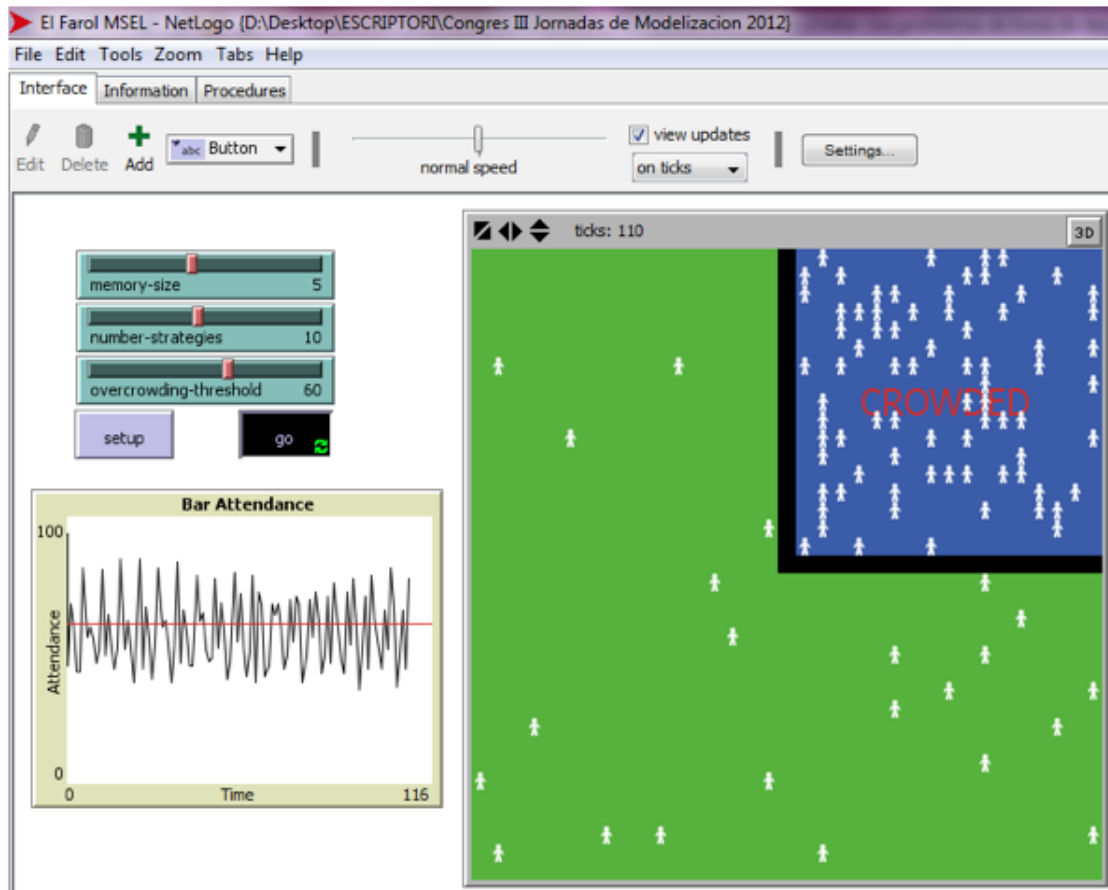


Figura 4: Captura de pantalla del simulador “El Farol” de NetLogo con la evolución temporal de la asistencia al Bar y la animación en el espacio bidimensional donde los individuos se mueven.

Con la batería de simulaciones que se realizaron se observó una respuesta del sistema o de la población “virtual” muy dependiente de la componente aleatoria. A pesar de ello, sí que se pudo intuir que determinadas combinaciones de valores para estos dos parámetros de entrada del simulador (“memory-size” y “number-strategies”) daban respuestas más eficientes y deseables al problema que otras combinaciones. Por ejemplo, la combinación de 10 estrategias para cada individuo con una memoria histórica de 10 ocupaciones previas generó dinámicas muy aceptables, tanto para el usuario del Bar cuando acude como para el propio propietario del Bar, ya que había poca variabilidad al entorno de la ocupación óptima-límite, la desviación respecto a la situación “ideal” era pequeña. Esto significa que los excesos o los defectos que se producen corresponden a números reducidos de individuos. Es importante que la magnitud de las oscilaciones no sea excesivamente grande para evitar que el Bar una semana se encuentre casi vacío y en otra semana no se pueda ni acceder a su interior. Este tipo de comportamiento se ha podido estudiar y controlar combinando valores para estos dos parámetros del simulador “El Farol” de NetLogo.

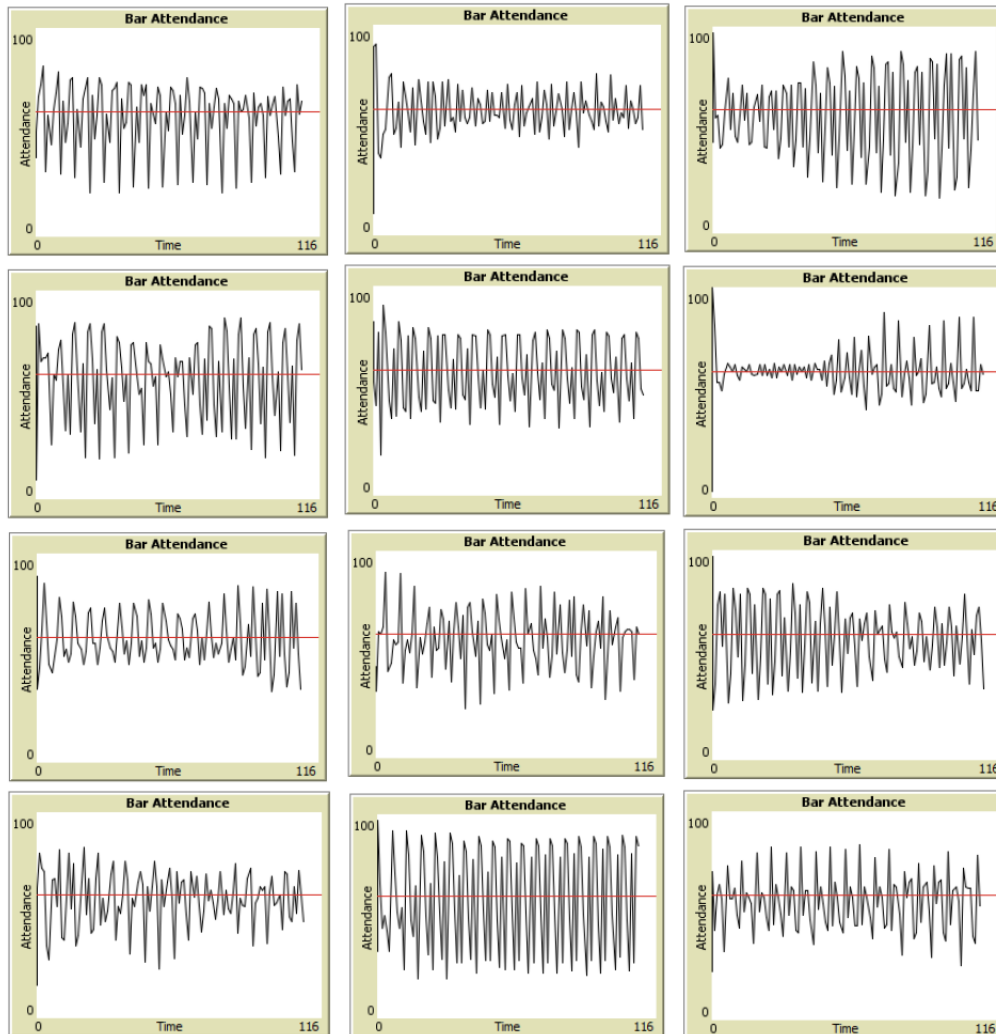


Figura 5: Capturas de pantalla de diferentes simulaciones (réplicas) generadas a partir del mismo juego de valores para los parámetros de entrada del simulador “El Farol” de NetLogo (memory-size=5, number-strategies=10, overcrowding-threshold=60).

Como el código de computación que utiliza este simulador “El Farol” es libre y accesible (Figura 2), una vez que el usuario se maneje con soltura en el lenguaje de programación en NetLogo, será capaz de realizar cambios o introducir variantes en el propio simulador, e incluso conjeturar y probar mejoras en el modelo computacional implementado. La opción de trabajar con un simulador de NetLogo es muy atractiva e interesante, pues proporciona muchas posibilidades a los estudiantes para implementar sus propias versiones de programa. Las ideas que se recogieron de los estudiantes para modificar o mejorar este simulador fueron varias. Algunas fueron de tipo formal o de estructura, referentes a las salidas gráficas o al tipo de información que se podía obtener durante la simulación, mientras que otras eran modificaciones más conceptuales y de diseño del propio modelo. Por ejemplo, se sugirió la posibilidad de asignar a los individuos algún otro tipo de estrategias distinto a estas combinaciones aleatorias de ocupaciones previas, como pueden ser las estrategias deterministas que se habían utilizado previamente en la hoja de cálculo, o bien de incorporar en la población algunos individuos “atípicos” que actuaran de forma “incontrolada” en algunos momentos, sin hacer caso a las previsiones de sus estrategias. Estas ideas o sugerencias incrementarían las posibilidades que este tipo de simulación discreta puede desarrollar en el entorno de programación NetLogo para seguir investigando esta

situación.

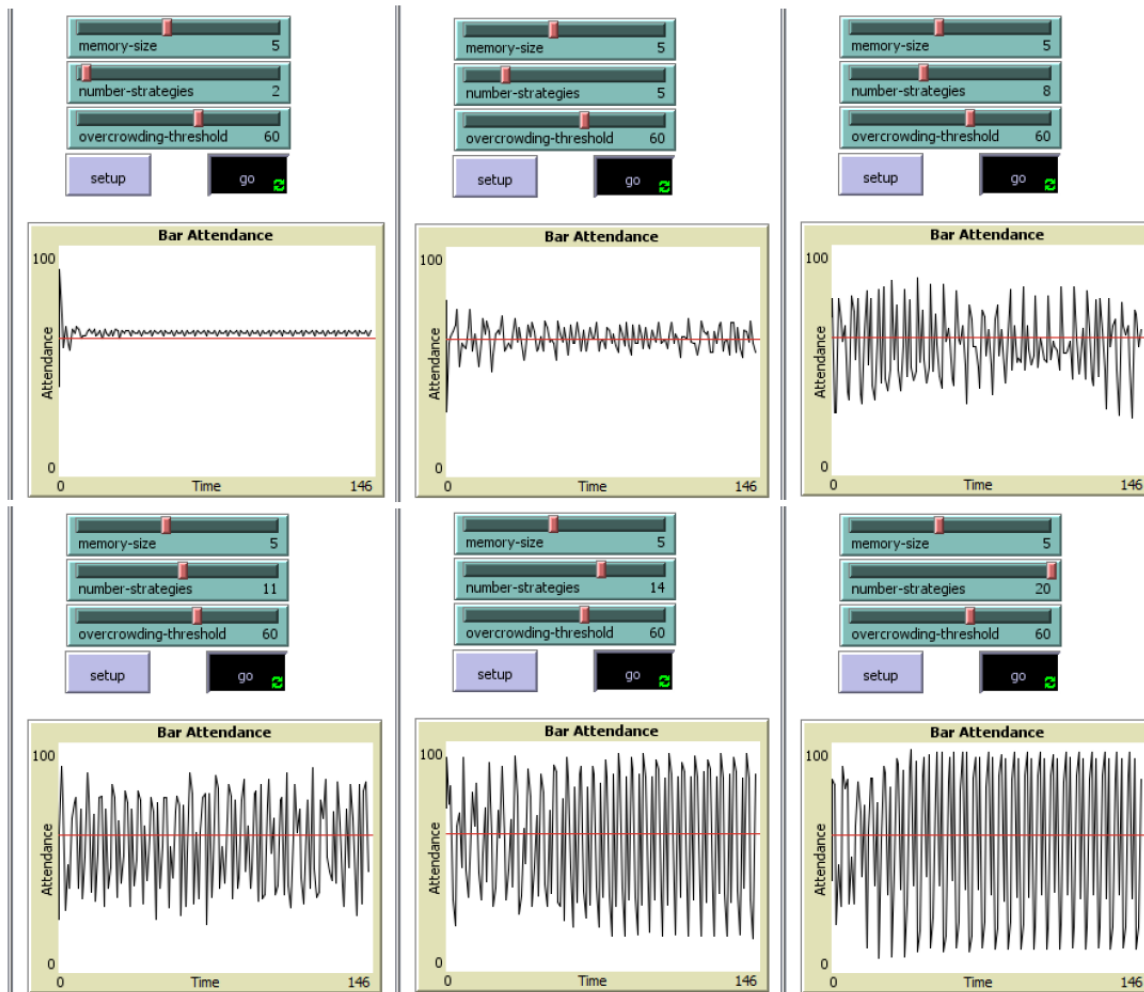


Figura 6: Capturas de pantalla de diferentes simulaciones con un valor fijo para el parámetro memory-size igual a 5, y con valores diferentes para el parámetro number-strategies, 2, 5, 8, 11, 14 y 20 respectivamente, con el simulador “El Farol” de NetLogo.

La valoración final de los estudiantes en relación a esta actividad fue muy positiva, pues descubrieron una metodología de modelización y simulación discreta para tratar con una situación “real” que no habían manejado anteriormente, y que, en un principio, habían supuesto fuera del alcance de la matemática aplicada. Sin requerir de muchos conocimientos previos, siguiendo las indicaciones propuestas en las diferentes tareas, los estudiantes fueron capaces de ir avanzando en el estudio de la situación planteada, descubriendo tanto ventajas (pros) como desventajas (contras) en las diferentes opciones computacionales para representarla. Se podría apuntar que a los estudiantes les sorprendió gratamente constatar como este tipo de situación relativa al comportamiento social, que inicialmente parecía “intratable” desde el punto de vista matemático, con la ayuda del ordenador, pasaba a ser un problema abordable, manejable, y posible de investigar, estudiar y analizar. Pudieron comprobar cómo los conocimientos matemáticos básicos que tenían eran útiles para la modelización y simulación discreta de un colectivo que intentaba tomar decisiones.

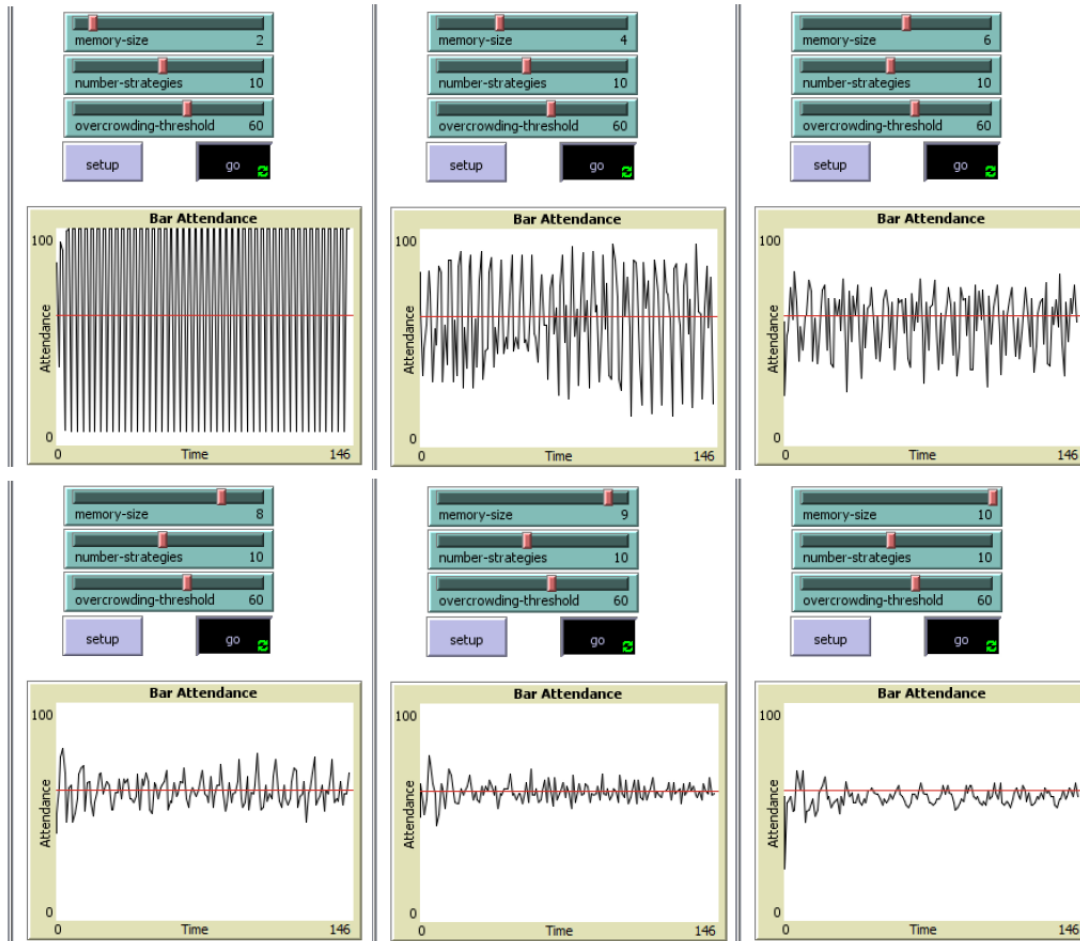


Figura 7: Capturas de pantalla de diferentes simulaciones con un valor fijo para el parámetro number-strategies igual a 10, y con valores diferentes para el parámetro memory-size, 2, 4, 6, 8, 9 y 10 respectivamente, con el simulador “El Farol” de NetLogo.

La actividad estructurada y pautada en etapas sucesivas, de dificultad creciente es adaptable a diversos niveles académicos. El progresivo avance en el estudio de situación planteada ha permitido llegar a un conocimiento más formal y sintetizado, favoreciendo la conexión entre conceptos y procedimientos, así como el descubrimiento individual por parte del estudiante de las posibles respuestas o soluciones. Durante toda la actividad se favoreció la reflexión y discusión de ideas al entorno de la situación objeto de estudio, impulsando la autonomía y los espacios de autoaprendizaje, respetando en todo momento las pautas o métodos de trabajo de los estudiantes.

Si una buena actividad matemática es una actividad que invita a los estudiantes a que tomen ellos mismos sus propias decisiones, que implica a los estudiantes en la exploración, la formulación y el contraste de conjeturas, que fomenta la reflexión y la interpretación, que favorece la originalidad y la inventiva, a la vez que estimula preguntas como: “qué ocurrirá si” y “que ocurrirá si no”, no hay duda que las tareas propuestas y llevadas a cabo en el marco de esta actividad de modelización y simulación discreta responden muy bien a estas expectativas.

3 Conclusiones

Se ha introducido la modelización y simulación discreta como una herramienta para investigar a través de un conjunto de tareas la toma de decisiones de los individuos de una población: acudir o no acudir a un determinado lugar conociendo únicamente las asistencias previas y deseando no coincidir con un número excesivo de individuos. Se han diseñado, desarrollado e implementado en una hoja de cálculo distintas estrategias de predicción individuales para futuras ocupaciones que faciliten la toma de decisiones, abordando el estudio de esta situación con la creación de una población “virtual” sobre la que generar experimentos computacionales. Los escenarios de simulación para estos experimentos con la hoja de cálculo han sido variados, combinando o no diversas estrategias entre los individuos de la población. Con el análisis de los resultados conseguidos y la constatación de las limitaciones de esta primera aproximación de modelización al problema planteado, se ha presentado el entorno de programación NetLogo específico para este tipo de modelo computacional basado en el individuo (o en agentes). Con el fin de ilustrar la potencia de esta plataforma multiagente NetLogo se ha presentado el Problema del Bar El Farol y la versión computacional ya implementada en este entorno y lista para ser utilizada. Se ha analizado el diseño de este simulador, su código de computación y los resultados de simulación que con él se obtienen, así como se han sugerido posibles cambios o mejoras para este modelo computacional.

En relación a la situación propuesta, si hubiera un modelo obvio que todos los individuos pudiesen utilizar para predecir la asistencia y basar sus decisiones, entonces una solución deductiva sería posible. Pero este no es el caso aquí. Teniendo en cuenta los números de asistentes en el pasado reciente, un gran número de modelos de predicciones podría ser razonable y defendible. Por lo tanto, sin saber cuál es el modelo que los otros individuos eligen, un individuo no puede definir de forma precisa su elección. No hay una solución deductiva racional - no hay un modelo correcto de predicción. Desde el punto de vista de los individuos, el problema no está bien definido y son impulsados hacia el mundo de la inducción. Por otra parte, las predicciones se ven obligadas a diferir, ya que si todos creen que son pocos los que irán, entonces todos irán, y por tanto esto invalidaría esta “creencia”. Del mismo modo, si todos creen que la mayoría va a ir, entonces nadie irá, invalidando también esta “creencia”. Lo que al inicio podía parecer a los estudiantes un problema “intratable” por ser un problema real y alejado de los estándares de problemas resolubles por vía deductiva, el uso del ordenador y de modelos discretos computacionales ha permitido y facilitado su investigación, avanzar en su comprensión y descubrir sus características más notables. Con todo lo hecho, aunque sigue sin haber una respuesta a como un individuo debe tomar la decisión, o cual es la mejor predicción que puede hacer, hemos aprendido a identificar elementos o factores claves y decisivos para el comportamiento colectivo, de la población, a través de la modelización de sus partes, los individuos que la forman. Estamos convencidos que la utilización de los modelos basados en agentes o individuos pueden abrir nuevos horizontes en el aula para explorar, y que son muy atractivos para contribuir en el desarrollo y consecución de la competencia en modelización que nuestros estudiantes deben adquirir.

Referencias

- [1] W. B. Arthur. Inductive Reasoning and Bounded Rationality. *American Economic Review* **84**, 406–411 (1994).
- [2] N. Gilbert Agent-based models. *Sage Publications* (2008).
- [3] N. Gilbert, K. G. Troitzsch. Simulation for the social scientist. 2nd edition. *Open University Press* (2005).
- [4] M. Ginovart, X. Portell, P. Ferrer-Closas, M. Blanco. Modelos basados en el individuo y la plataforma NetLogo. *UNIÓN-Revista Iberoamericana de Educación Matemática* **27**, 131–150 (2011).
- [5] M. Ginovart, X. Portell, P. Ferrer-Closas, M. Blanco. Modelos basados en el individuo: una metodología alternativa y atractiva para el estudio de biosistemas. *Enseñanza de las ciencias* **30**, 107–122 (2012).
- [6] W. Rand, U. Wilensky. NetLogo El Farol model.
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/ElFarol>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL (2007).
- [7] U. Wilensky. NetLogo.
<http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, IL (1999).