

Un hormiguero en el ordenador

R. Lahoz-Beltrá

Bienvenidos lectores a *Los mundos de Gaia*, sección en la que mes a mes iremos explorando en nuestro *Beagle virtual* la red de redes: internet. Durante el trayecto visitaremos simulaciones y mundos virtuales que en muchos aspectos emulan y se asemejan a la naturaleza. También exploraremos aquellos conceptos y herramientas informáticas que nos serán de utilidad en nuestro trabajo de campo y que nos acercarán a los usos y métodos de los naturalistas del nuevo siglo, el XXI. Comenzaremos tan peculiar singladura visitando el primer mundo virtual, aquél habitado por criaturas artificiales que a más de uno sorprenderán por su similitud con un insecto de todos conocido, del orden de los himenópteros y de la familia de los formicidos, las populares hormigas.

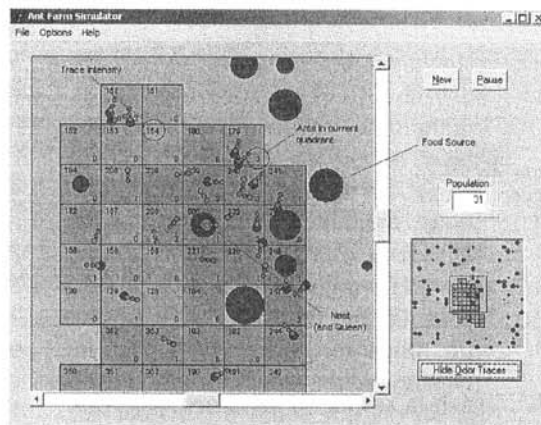
Por si no fuera poco con el ratón o con los más variados virus que acechan a la integridad de nuestro ordenador, ahora es el turno de las hormigas. Desde tiempos remotos las hormigas han causado una fascinación muy especial en el ser humano. Durante generaciones, niños y adultos se han sentido atraídos por su continuo ir y venir, por su perfecta organización, y por la incesante actividad que las hormigas exhiben a lo largo de las rutas que siguen durante el transporte de alimento entre los lugares de recolección y la colonia. Sus actividades más características no sólo han llamado la atención de los naturalistas, también los bioinformáticos e incluso los ingenieros han sabido ver en ellas una fuente de inspiración desarrollando procedimientos computacionales y espectaculares simulaciones en ordenador sobre sus más variadas facetas. Dedicaremos este artículo a tales simulaciones, convirtiendo nuestro ordenador en un *hormiguero virtual* con el que podremos explorar y experimentar un sinfín de situaciones. Una de las actividades más llamativas de las hormigas es la búsqueda y recolección de alimento o de cualquier otro recurso necesario para la supervivencia y mantenimiento de la colonia. La exploración del entorno, y el posterior transporte de alimento desde el sitio donde se encuentre hasta la colonia es una de las tareas mejor conocidas y que con más detalle ha sido simulada en ordenador. La explicación acerca de cómo un grupo de hormigas coopera entre sí en dicha tarea se basa en el mecanismo con el que las hormigas de una colonia se comunican unas con otras. Cada vez que una hormiga inicia la exploración de un cierto entorno, dicho individuo deposita sobre su tra-

yecto una cantidad determinada de feromona, una señal química que servirá más tarde para comunicar a una hormiga que otra estuvo allí previamente. Por supuesto, la cantidad de feromona en un cierto trayecto se irá incrementando a medida que aumente el número de hormigas que circulen por él. Si el recurso, por ejemplo el alimento, se agota, la *popularidad* del trayecto marcado con feromonas irá disminuyendo por pérdida de la señal química, reduciéndose paulatinamente la cantidad de feromona, y en consecuencia el tráfico de hormigas. El resultado final es la existencia de una compleja red de trayectos de feromonas en los que la cantidad de feromona acumulada en cada uno desempeña el papel de lo que se conoce con el rimbombante nombre de *memoria distribuida*, una especie de mapa o guía de carreteras que la colonia de hormigas utilizará, y en función de cuya mayor o menor utilización, las sucesivas ediciones de esta guía se irán actualizando de un modo paulatino y natural. Para abrir boca, uno de los programas que de manera más sencilla y elegante ilustra la búsqueda de alimento, y la construcción de trayectos con feromonas entre la colonia y el lugar donde se encuentra el alimento, es un *applet* [1] (un *applet* es un programa que se ejecuta a través de una página web) en el que las hormigas se comportan de acuerdo con dos estados posibles. En uno de los estados la hormiga vuelve a la colonia para, una vez allí, iniciar el otro estado, al que se conoce como *pecoreo*. Durante el *pecoreo* una hormiga evalúa la cantidad de feromona en los alrededores, dirigiéndose en aquella dirección en la que la concentración sea mayor. Ocasionalmente, una hormiga seleccionará aleatoria-



mente una región sin feromonas, explorando dicho lugar en búsqueda de alimento. Puesto que el mantenimiento de un trayecto depende del número de hormigas que viajen por él, algo parecido a lo que a veces ocurre con ciertas rutas aéreas o vías férreas, el programa [1] permite fácilmente simular dicho efecto. Aunque no permite experimentar, Frank Schweitzer y colaboradores nos ofrecen la grabación en vídeo de unos experimentos de simulación de formación de rutas, pudiéndose visualizar el vídeo a través de la página *web* [2]. Ahora bien, si lo suyo es la experimentación, con diferencia el mejor modelo de simulación sobre formación de rutas con feromonas, y hormigas en frenética actividad recolectora, es el *applet* denominado Ant Sim Project [3]. Sus autores asumen dos clases de feromona dependiendo de que dicha señal química comunique a otras hormigas que una o más hormigas estuvieron allí previamente, o alternativamente que un depósito de alimento ha sido encontrado. La simulación se basa en que si trazamos una línea imaginaria entre la colonia y el lugar donde se encuentra el alimento, la cantidad de feromona disminuye progresivamente desde la colonia, donde dicha cantidad es máxima en torno a la entrada del hormiguero, hasta el lugar en el que se halle el alimento. Por consiguiente, las hormigas que tras la recolección buscan de retorno el hormiguero, encontrarán su entrada siguiendo el trayecto en aquel sentido en el que la cantidad de feromonas aumente progresivamente. Por el contrario, las hormigas que abandonen el hormiguero en búsqueda de alimento aplicarán el criterio contrario, es decir seguir el trayecto en aquel sentido en el que la cantidad de feromona disminuya progresivamente. Asimismo, el programa asume que una hormiga puede encontrarse, como si fuera un *semáforo*, en uno de estos tres estados posibles, ya sea en fase de exploración, reclutamiento o transporte. Utilizando un criterio similar al del progra-

ma anterior, Roberto Aguirre Matu-rana nos ofrece su versión personal del mundo de las hormigas en un programa para Windows llamado Ant Farm Simulator, y que puede ser descargado desde su página *web* [4]. Con una *interface* que recuerda a un video-



juego de estrategia, el programa considera como supuesto de partida dos clases de feromona, una de color pardo y otra de color verde, señalizando la posición de la colonia u hormiguero y el lugar donde se encuentra el alimento, respectivamente. Como diría un mirmecólogo, que no es ninguna especialidad médica, sino el vocablo con el que se conoce a un especialista en hormigas, la existencia de dos clases de feromonas definirá dos *gradientes de concentración* ¿y esto qué significa? Sencillamente, y en lenguaje coloquial, que la cantidad de feromona parda será máxima alrededor de la entrada del hormiguero, disminuyendo progresivamente a medida que nos alejemos de él, mientras que la de feromona verde será máxima en la región en la que esté el alimento, disminuyendo también progresivamente según nos alejemos de dicha región. El resultado de estos dos gradientes es que tareas habituales de las hormigas como el retorno a su colonia o el transporte de alimento estarán en última instancia gobernados por ambos gradientes.

Anticipándonos a uno de los mundos que en futuros artículos exploraremos, el programa MicroAnts 2.0 [5] desarrollado por Stephen Wright en

1992 simula la evolución por selección natural darwiniana de dos poblaciones de hormigas. Aunque en un principio no se ajusta de un modo estricto a la biología de las hormigas, con ciertas concesiones a su autor, el programa cubre satisfactoriamente su faceta educativa, pudiéndose observar la evolución en tiempo real en dos colonias de hormigas, una de hormigas negras y otra de hormigas rojas. Las hormigas deberán alimentarse, aparearse y estarán sometidas a ciertos contingentes como la lucha con otras hormigas de su propia o distinta colonia, la predación ejercida por un oso hormiguero o la presencia de veneno en el ambiente. Las condiciones iniciales del experimento de simulación vendrán determinadas por el tamaño de cada colonia, es decir el número inicial de hormi-

gas rojas y negras, la cantidad de alimento inicial y su tasa de renovación, la cantidad de veneno presente en el ambiente así como las tasas de recombinación y mutación. La tasa de recombinación se refiere al porcentaje de parejas de hormigas que intercambiarán, entremezclando fragmentos de cromosomas, su información genética, de un modo similar a como tiene lugar en la reproducción sexual; mientras que la tasa de mutación definirá al porcentaje de hormigas en las que se provocará algún cambio aleatorio en su información genética. La suerte de cada hormiga dependerá entre otros factores de la cantidad de alimento ingerido. El ambiente en el que se desenvuelve la vida de las hormigas está representado por una rejilla, cuyos cuadrados no son visibles en la simulación, moviéndose las hormigas de uno a otro cuadrado. Aunque se trate de dos colonias de hormigas, cada uno de los individuos de la colonia tiene o porta su propio cromosoma, es decir su propia secuencia de genes, de los que dependerá cómo se desenvuelva en el ambiente. Los cromosomas son simulados como secuencias de 16 bits, es decir como una secuencia de unos y ceros, con una longitud total de dieciséis dígitos. Esto significa que diferentes agrupaciones de unos y ceros simularán los genes, estando

- **Gen # 1** distancia de visión (16 alelos)
 - 0000 hormiga ciega
 - 0001 un cuadrado de visión
 - 0010 dos cuadrados de visión
 - 0011 tres cuadrados de visión
 -
 - quince cuadrados de visión
- **Gen # 2** dirección de movimiento (4 alelos)
 - 00 hormiga no se mueve
 - 01 se mueve en dirección N-S
 - 10 se mueve en dirección E-O
 - 11 se mueve aleatoriamente
- **Gen # 3** detección del veneno (2 alelos)
 - 0 hormiga no detecta veneno
 - 1 sí detecta veneno
- **Gen # 4** reproducción (2 alelos)
 - 0 hormiga se apareja si su nivel de alimento > 500
 - 1 hormiga se apareja si su nivel de alimento > 1000
- **Gen # 5** comportamiento egoísta/altruista (4 alelos)
 - 00 hormiga egoísta, nunca comparte su comida
 - 01 altruista, siempre comparte su comida
 - 10 comparte su comida pero si la otra hormiga posee un gen # 5 igual a 10
 - 11 comparte su comida pero si la otra hormiga posee un gen # 5 igual a 01 o 11
- **Gen # 6** visión de otras hormigas (2 alelos)
 - 0 hormiga no ve a otras hormigas
 - 1 sí ve a otras hormigas
- **Gen # 7** visión del oso hormiguero (2 alelos)
 - 0 hormiga no ve al oso hormiguero
 - 1 sí ve al oso hormiguero
- **Gen # 8** comportamiento agresivo (4 alelos)
 - 00 hormiga nunca ataca
 - 01 ataca únicamente a hormigas rojas
 - 10 ataca únicamente a hormigas negras
 - 11 ataca indistintamente a hormigas rojas y negras
- **Gen # 9** fuerza física (4 alelos)
 - 00 hormiga con fuerza igual a 1 (más débil)
 - 01 con fuerza igual a 2
 - 10 con fuerza igual a 3
 - 11 con fuerza igual a 4 (más fuerte)

cada cromosoma constituido por 9 genes de longitud variable, cuyos valores o alelos, y su significado son los representados en la tabla.

Por ejemplo ¿cómo será una hormiga que porte el cromosoma 0010-10-1-0-01-1-0-01-11? Leyendo en la tabla deduciremos que su distancia de visión será de dos cuadrados, se moverá en dirección este-oeste, detectará el veneno, se apareará si el nivel de alimento es superior a 500, siempre será altruista compartiendo su alimento con otras hormigas que salgan a su encuentro, verá a otras hormigas pero no al oso hormiguero, atacará únicamente a las hormigas rojas, y finalmente si tuviera que luchar o combatir contra otra hormiga su fuerza será igual a 4. Una vez que dos hormigas se encuentran o coinciden en un cuadrado pueden o no reproducirse, tener o no lugar el combate o lucha entre hormigas, o manifestarse un comportamiento altruista o egoísta de una de las hormigas con respecto a la otra, compartiendo o no el alimento; comportamientos que dependerán en última instancia de cuál sea su dotación genética. El programa MicroAnts 2.0 permite algunos experimentos de simulación sumamente interesantes que ilustran cómo trabaja el mecanismo de selección natural propuesto por Darwin. Por ejemplo ¿qué podríamos esperar si no hay veneno en el ambiente? En este

caso la respuesta es sencilla, puesto que el valor del Gen # 3 no resulta esencial para la supervivencia de las hormigas en dicho ambiente, al cabo de un tiempo de simulación cabría esperar que aproximadamente el 50% de las hormigas tendrán el valor 0 en el Gen #3, siendo su valor 1 en el 50% restante. ¿Y si hubiera una cantidad apreciable de veneno en el ambiente? Le sugerimos que experimente usted mismo la respuesta. Si es así, una vez que ejecute el programa, éste le solicitará las condiciones del experimento, recomendándole los siguientes valores:

- Número de hormigas rojas: 200
- Número de hormigas negras: 200
- Cantidad inicial de alimento: 120
- Renovación de alimento: 999
- Cantidad máxima de alimento: 120
- Cantidad de veneno: 50
- Tasa de recombinación: 75
- Tasa de inversiones: 0
- Tasa de mutación: 5
- Condiciones de combate: 10
- Color de fondo: 1 (azul)
- Color alimento: 2 (verde)
- Color del veneno: 6 (marrón)

A continuación, pulse la tecla A comenzando la simulación. Si desea detener la simulación, pulse la barra espaciadora del teclado apareciendo en su pantalla el menú de opciones. Una vez allí, si pulsa la tecla E podrá ver los

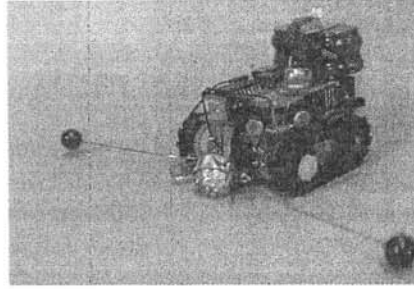
datos relativos a las hormigas de las dos colonias, incluido el cromosoma de cada una. Pulsando la tecla F accederá a lo que su autor llama Ant Hall Fame, algo así como el pabellón de la fama, en donde encontrará las mejores hormigas en distintas facetas de su actividad. Finalmente, pulsando la tecla A continuará la simulación a partir del estado en el que se detuvo, es decir, las hormigas continuarán evolucionando, pero si lo que desea es abandonar el programa entonces pulse la tecla H.

Para naturalistas con mente ociosa, una buena noticia es que las colonias de hormigas han sido motivo de inspiración en el diseño de videojuegos. Uno de los más populares es Sim Ant, un juego de estrategia comercializado en 1991 por la empresa Maxis dentro de su serie Sim de juegos de simulación. Sim Ant pertenece a la clase de videojuegos denominados *juegos de orden-conquista*, y en el que dos colonias compiten por alimento y territorio bajo dos modalidades o escenarios



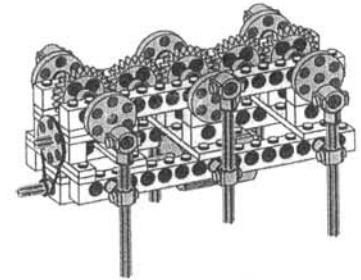
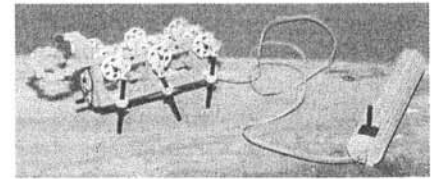
posibles. En la modalidad Quick Game el jugador construye un hormiguero cuya reina deberá ser protegida frente al ataque de las hormigas de otra colonia enemiga y a la que deberemos destruir, venciendo en tal caso la partida. En su modalidad Full Game además de destruir a la colonia enemiga, el objetivo final es invadir una casa construida sobre el jardín en el que se hallan los hormigueros. Mi experiencia personal al respecto es bastante frustrante, ya que como *hormiga* soy bastante mal estratega, especialmente definiendo el porcentaje óptimo de hormigas de distinta casta que favorezca un buen resultado. Las páginas *web* [6, 7, 8] resumen el objetivo y características del juego, su historia, posibles estrategias e incluyen tablas de lo que se denomina como *cheat codes*, y cuya traducción sería algo así como *códigos tramposos*, es decir instrucciones que si son tecleadas mientras jugamos, cambian las condiciones del juego o generan algún suceso, que naturalmente resulte ventajoso, durante la partida. Por ejemplo, aumentar el número de reinas, mejorar la salud de la colonia, incrementar el número de colonias, ganar siempre las batallas frente a las hormigas de la otra colonia, y un largo etcétera de pequeñas triquiñuelas con las que alargar nuestra supervivencia en un mundo tan inhóspito y con reglas tan estrictas para los seres humanos.

Pensando en los más manitas, y fruto de los avances más recientes en microrrobótica, la página *web* [9] del célebre Laboratorio de Inteligencia



Artificial del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts) en EE. UU. describe bajo el título "The Ants: A Community of Microrobots" la construcción de *hormigas robóticas* y la realización de experimentos en una comunidad de microrobots hormiga. Los experimentos, inspirados en los comportamientos que exhibe una colonia de hormigas en la naturaleza, muestran como una colonia de hormigas exhibe *inteligencia colectiva* como resultado de las interacciones y comunicación entre los individuos, jugando las hormigas robóticas a tres juegos diferentes, denominados Leader, Tag y Manhunt. La página *web* en cuestión merece ser visitada, sobre todo si tenemos en cuenta la posibilidad de descargar [10] a nuestro ordenador varios vídeos en formato MPEG en los que se muestra a los microrobots hormiga en acción. Más como un entretenimiento, y sin el rigor e interés científico de las hormigas robóticas del MIT, Richard Taylor [11] propone la construcción de una hormiga utilizando el popular juego de construcciones LEGO. Su autor describe en imágenes los pasos necesarios para construir con éxito una hormiga móvil en la que se inspira otra creación suya, el robot ciempiés.

Finalmente, y si pese a todo lo que hemos expuesto, usted sigue siendo un naturalista acérrimo para el que todas estas simulaciones no pasan de ser un mero entretenimiento para gente desocupada, no se preocupe, que también en internet se piensa en usted. El Museo de Historia Natural de Londres ofrece la posibilidad de observar, gracias a internet, a una colonia de hormigas en tiempo real a través de una cámara de infrarrojos. Puesto que la



experiencia merece la pena le sugiero que siga estos pasos. En primer lugar, conéctese a la página *web* [12]; una vez que se descargue en el navegador de su ordenador la página principal, verá la imagen frontal de una hormiga ampliada 20 veces. A continuación, y en segundo lugar, pulse con el ratón sobre el texto "live video stream", accediendo al vídeo. Eso sí, dese prisa ¡el vídeo sólo puede ser visto por un máximo de diez usuarios a la vez!

- [1] <http://website.lineone.net/~john.montgomery/demos/ants.html>
- [2] <http://www.ais.fhg.de/~frank/ants.html>
- [3] <http://www.dd.chalmers.se/~f97luen/antsimproject/applet.htm>
- [4] <http://www.geocities.com/chamonate/hormigas/antfarm/indice.html>
- [5] <http://www.calresco.org/sos/mants21.zip>
- [6] <http://www.geocities.com/seandlh/simant/>
- [7] <http://home.student.utwente.nl/r.m.spruijt/sim/>
- [8] <http://www.gamesdomain.com/faqdir/simant.txt>
- [9] <http://www.ai.mit.edu/projects/ants/>
- [10] <http://www.ai.mit.edu/projects/ants/photo-album.html>
- [11] <http://www.ncf.carleton.ca/~aa333/ant.html>
- [12] <http://www.nhm.ac.uk/museum/creepy/antcastintro.html>

Rafael Lahoz-Beltrá, doctor en Ciencias Biológicas, es profesor titular en el departamento de Matemática Aplicada (Biomatemática) de la Facultad de Biología de la Universidad Complutense de Madrid, donde en la actualidad imparte las asignaturas de *Bioinformática* y *Teoría y simulación de sistemas biológicos*.



Desde 1989 hasta 1990 fue *Fulbright Visiting Research Scholar* en el departamento de Ciencia de Sistemas en la Escuela de Ingeniería T. J. Watson de la Universidad Estatal de Nueva York.