

# Inteligencia colectiva artificial como metáfora computacional de la sociobiología

**Ramiro Aguilar Quispe, Luis Alonso Romero**  
Departamento de Informática y Automática  
Universidad de Salamanca  
Plaza de la Merced s/n. 37008 Salamanca, España  
Telf: +34 923 294400 (Ext. 1513). Fax: +34 923 294514  
{ramiro, lalonso}@tejo.usal.es

## Resumen

En este trabajo se describen las características fundamentales del comportamiento de los sistemas colectivos naturales; se analizan los detalles ingenieriles y científicos, extrayendo las potencialidades para establecer una teoría sobre la inteligencia colectiva artificial. Se presenta un ejemplo de aplicación.

**Palabras Clave:** inteligencia artificial basada en comportamientos, inteligencia colectiva, inteligencia colectiva artificial, robótica colectiva, ruptura espontánea de simetría, sistemas complejos.

## 1 Introducción

Cuando se estudia el comportamiento animal se necesita responder dos cuestiones importantes, cómo se realiza ese comportamiento y por qué. Las respuestas al cómo implican mecanismos fisiológicos y bioquímicos y las respuestas al por qué implican a los valores adaptativos del comportamiento. La sociobiología es una rama de la biología evolutiva que trata de responder al por qué de la conducta de los animales. En este contexto, se combinan los conceptos de la biología del comportamiento, la ecología de poblaciones y el estudio de las especies y se afirma que todo comportamiento resulta de una compleja interacción entre el animal y su ambiente en el cual sobrevive [3]. Por su parte, la supervivencia tiene relación con la predisposición de los animales a comportarse adaptativamente en sus ambientes naturales.

La adaptación de la humanidad muestra desarrollos marcados a todo nivel en los últimos tiempos, no obstante, sus genes no varían mucho en 50000 años precedentes. Otras especies de animales muestran adaptaciones complejas, grandes y espectaculares porque tuvieron mucho más tiempo para evolucionar. Así,

resulta interesante explicar los mecanismos por los cuales estas especies interactúan, conviven y sobreviven en la naturaleza [13]. ¿Por qué las aves realizan determinadas formaciones al migrar de zonas geográficas? ¿Por qué sobreviven mejor los peces formando agrupaciones llamadas cardúmenes, cuando para los depredadores, un factor del éxito de su caza es la abundancia de presas? ¿Por qué, desde que son adultas, las hormigas obreras trabajan hasta morir y cómo construyen el hormiguero? ¿Cuáles son los mecanismos para la formación de jerarquías en algunas especies?. Sin duda, la propiedad colectiva tiene que ver mucho para responder las anteriores preguntas.

Extrapolando el anterior contexto con el campo de las Ciencias de la Computación, específicamente con el área de la Inteligencia Artificial (IA). Se conoce que en la IA para resolver ciertos problemas o tratar ciertas cuestiones, se crean sistemas inteligentes como unidades atómicas que resuelven y brindan soluciones. Sin embargo, existen problemas particulares que no pueden ser resueltos por sistemas inteligentes atómicos, por tal motivo, una alternativa es crear sistemas inteligentes bajo el enfoque colectivo. Un sistema colectivo se expresa como la unión de elementos simples (que, también, pueden ser sistemas inteligentes simples). Así, la inteligencia artificial del sistema bajo el enfoque colectivo es resultado del operar de sus elementos. Analicemos las siguientes secciones.

## 2 Ruptura espontánea de simetría

Una aproximación para la explicación y la interpretación de las fuerzas fundamentales de la naturaleza esta relacionada con una cuestión en física: la *ruptura espontánea de simetría*. Analicemos un ejemplo asociado [10].

Dos grupos políticos se disputan el ayuntamiento de un pueblo pequeño de 41 habitantes. Cada uno de los habitantes se alinea con uno de los grupos. Podemos

representar el “estado de opinión” del pueblo mediante un tablero con dos casillas, una blanca y otra azul, en las que se encuentran 41 fichas. En cada turno se elige al azar una de las fichas y se mueve de acuerdo con ciertas reglas. Imaginemos primero que a los habitantes no les gusta discrepar y tienen tendencia a seguir a la mayoría con una probabilidad 0.75 y, segundo, eligen la casilla minoritaria con una probabilidad 0.25; como el número total de fichas es impar, siempre habrá una casilla mayoritaria.

Con las anteriores reglas sencillas, el comportamiento de la opinión pública del pueblo es bastante interesante. Supongamos que durante un gran número de turnos, el partido Azul es el mayoritario. En toda esta fase, el 75% de las fichas movidas irán a la casilla azul y el 25% a la blanca. Si la fase ha durado mucho más de 41 turnos, entonces el 75% de la población, unas 30 personas, elegirán en media, el partido Azul y el 25% restante al Blanco. Sin embargo, esta distribución de la población sólo es cierta en media, ya que el comportamiento de cada individuo está sujeto al azar y habrá por ello fluctuaciones en torno a la distribución media. De hecho las fluctuaciones pueden ser tan grandes como para inclinar la balanza hacia el partido contrincante.

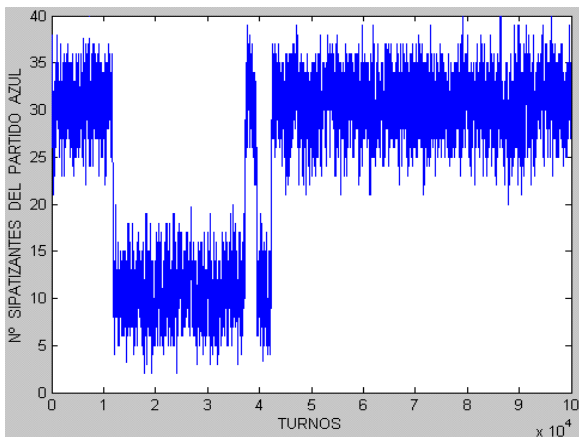


Figura 1: Número de simpatizantes del partido Azul, en función del número de turnos jugados, cuando la probabilidad de alinearse con la mayoría es 0.75

En la figura 1, se puede apreciar cómo se comporta el número de simpatizantes del partido Azul. Se realizó una simulación de 100000 turnos. En los primeros momentos, el partido Azul es mayoritario con 30 votos (hay fluctuaciones que quieren hacer variar esa condición, pero se logra recuperarla en varias ocasiones) hasta que en el turno cercano al 10000, el partido Blanco le arrebató la mayoría y la mantiene durante unos 26000 turnos y así, sucesivamente, se tienen cambios de mayoría que se producen al azar tras in-

tervalos desconocidos.

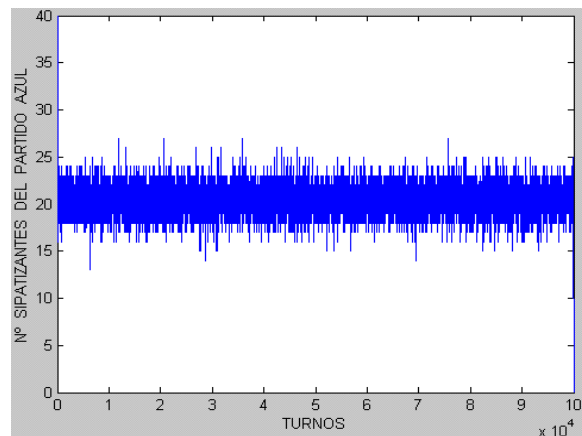


Figura 2: Número de simpatizantes del partido Azul, en función del número de turnos jugados, cuando la probabilidad de alinearse con la mayoría es 0.25

¿Qué ocurre si cambiamos la probabilidad de mover a la casilla mayoritaria a 0.25? Con lo anterior, se podría pensar que la fracción de habitantes del pueblo que simpatizan con el partido mayoritario es siempre igual de mover a la casilla mayoritaria. Sin embargo, esto sólo es cierto si dicha probabilidad es mayor que 0.5, en el caso contrario nos encontramos ante individuos que prefieren alinearse con la opción minoritaria. En efecto, cuando uno de los partidos, por fluctuaciones comienza a tener más simpatizantes, los habitantes del pueblo comienzan a apoyar al partido minoritario. Es decir, ante cualquier desviación del reparto 50-50 entre los dos partidos, aparecerá una tendencia que tratará de restituir la situación de igualdad (figura 2). Se comprueba, además, que las fluctuaciones son menos intensas que en el caso en que los habitantes preferían alinearse con el partido mayoritario.

En la figura 3 se representa el número medio de simpatizantes del partido Azul en función de la probabilidad de elegir al partido mayoritario. La línea que indica el número medio de simpatizantes se bifurca en dos cuando la probabilidad es mayor a 0.5, eso significa que el número medio puede tomar dos valores posibles. El valor que de hecho toma depende del número inicial de simpatizantes de cada partido o, si éstos son cercanos al 50% de la población total, dependerá de las fluctuaciones iniciales.

Se debe notar que las reglas no favorecen a ninguno de los dos partidos, sin embargo, dependen del comportamiento de la población y hacen que uno de los partidos sea mayoritario. Las reglas son simétricas ante el intercambio de partidos pero, en lapsos de tiempo bastante grandes el “estado de opinión” no

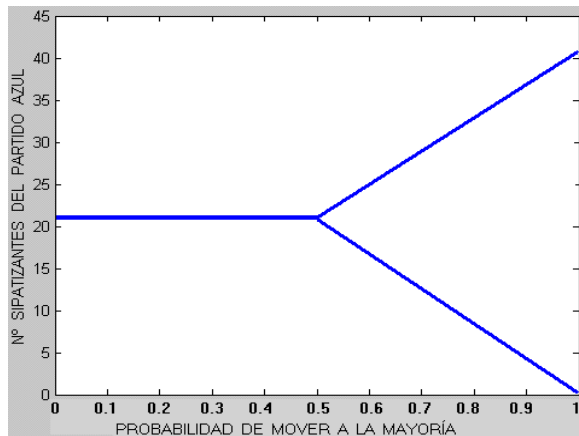


Figura 3: Número medio de simpatizantes del partido Azul en función de la probabilidad de alinearse con el partido mayoritario.

tiene esa simetría, sino que uno de los partidos vence a su contrincante. Este es un fenómeno de *ruptura espontánea de simetría*. La ruptura de simetría se produce espontáneamente, debida a fluctuaciones, sin que haya nada en las reglas de evolución que indique hacia donde se realice dicha ruptura. Una cuestión importante es que el estado macroscópico de la población, es decir, la simpatía partidaria, se determina a través de fluctuaciones que afectan a pocos habitantes, es decir a fluctuaciones microscópicas. La ruptura de simetría puede considerarse como una amplificación de fluctuaciones microscópicas, como un mecanismo por el cual el azar microscópico invade al mundo macroscópico.

### 3 Sistemas complejos

#### 3.1 Patrones y procesos en la naturaleza

Otro ejemplo de ruptura de simetría se observa en los sistemas complejos [6]. Varios sistemas en la naturaleza como la atmósfera, la bolsa de valores y la célula, son sistemas complejos que constan de muchos componentes que interactúan fuertemente dando lugar a una serie de comportamientos globales que se encuentran interrelacionados. Generalmente, la dinámica temporal de estos sistemas no es lineal y con frecuencia el detalle del comportamiento dinámico de los componentes es irrelevante para la caracterización de las llamadas *propiedades emergentes*. Es decir, las situaciones distintas a nivel de los componentes, muchas veces, originan el mismo comportamiento colectivo. Sin embargo, la dinámica no lineal muestra que en general es imposible predecir lo que va a pasar más allá de un cierto horizonte temporal. Además, estos sistemas, al evolucionar, transforman su entorno, con lo que modi-

fican las condiciones y reglas de cambio. Con lo que el fenómeno colectivo es independiente de las reglas sobre los componentes de los sistemas.

¿Por qué la naturaleza se organiza espontáneamente para dar lugar a toda una jerarquía de organización? y, por ejemplo, ¿por qué existen la imaginación y la fantasía humanas si en los genes no está escrito? La respuesta puede, a su vez, depender de otra cuestión. Sabemos que todos los electrones son idénticos entre si; sin embargo, los átomos ya son distinguibles y se agrupan en diferentes tipos. Si seguimos escalando los niveles de organización y, con ello, los diferentes niveles de complejidad, llegamos a la conclusión de que cada animal, en particular cada humano, es distinto a todos los demás, cada uno es un *individuo*. Por su parte, la complejidad aumenta mientras que la semejanza se pierde. Así, la complejidad es el origen de la individualidad pero, paradójicamente, se manifiesta únicamente bajo acciones colectivas.

Para visualizar lo anterior podemos observar las imágenes de la figura 4 que son resultado del experimento que realizó Harry Swinney del Centro de Dinámica no Lineal de la Universidad de Texas, puso arena en un plato de Petri y lo colocó sobre una bocina conectada a un generador de audio en el cual podía modular la intensidad y la frecuencia del sonido, que se traducían en vibraciones sobre el plato. Con diversas combinaciones de amplitud y frecuencia el plato homogeneizado de arena formaba patrones particulares que mostraban coherencia sin parecer a arena distribuida al azar. Este es otro caso de ruptura de simetría que se traduce en una *emergencia de patrones* donde las formas espaciales surgen espontáneamente de “la nada”.

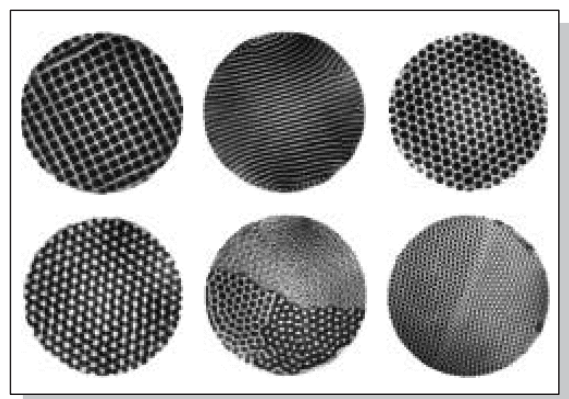


Figura 4: Emergencia de formas espaciales coherentes del plato de Petri [8] [9].

### 3.2 Complejidad, orden y organización

La complejidad es el problema central de la ciencia de los sistemas complejos y está relacionada con las propiedades que emergen de las interacciones de varios elementos similares. Está relacionada con la generación espontánea de orden. Se trata de un orden generado sin la intervención de un control central o de un plan predefinido, ya sea en el diseño estructural de los elementos o codificado en los mecanismos de interacción. Este nuevo orden llamado *autoorganización* se manifiesta, generalmente, como una ruptura espontánea de simetría, en la que existe formación de patrones donde antes no los había y por la posibilidad de conductas colectivas altamente organizadas, aun en la ausencia de diseños prefijados.

La conducta social, tanto en insectos como en humanos es un fenómeno biológico autoorganizado. Las sociedades de insectos se basan en la existencia de unidades sociales (los individuos) que interactúan produciendo una conducta colectiva, global y emergente. La conducta social no puede ser reducida a la conducta individual de los participantes debido a que los individuos en aislamiento no la producen. Por lo tanto, la conducta social es un producto sinérgico y sólo la produce la participación concurrente de individuos en interacción.

## 4 Inteligencia colectiva

### 4.1 Inteligencia colectiva natural

Hablando de insectos sociales, se ha descubierto que ciertas especies de hormigas del género *Leptothorax* podían pasar inactivas hasta un 25% de su tiempo de vida y se activaban de manera espontánea o bien, cuando eran tocadas por otras compañeras [12]. Sin embargo, la dinámica de la actividad en la colonia expresaba un patrón sincronizado en forma de oscilaciones periódicas en el que se alternaban intervalos de reposo y actividad. La dinámica de las activaciones espontáneas de los individuos aislados mostraba caos determinista, es decir, la conducta a nivel individual resultaba ser caótica (desordenada), pero la conducta del colectivo era sincronizada y periódica (ordenada) [9], con lo cual la organización social como fenómeno de inteligencia colectiva, surgía cuando la dinámica de la actividad en la colonia se situaba entre los límites del orden y del desorden [8] [9].

### 4.2 Inteligencia colectiva artificial

La inteligencia colectiva artificial (ICA) puede considerarse como un nuevo enfoque para lograr "inteligencia" en el área de la inteligencia artificial (IA). Si un

problema no puede resolverse por la construcción de un sistema resolutor, es probable que la sinergia de varios de estos sistemas pueda resolverlo. Consideremos las siguientes proposiciones para estructurar este nuevo enfoque.

**Proposición 1:** Un sistema con inteligencia colectiva artificial es un conjunto de elementos, en lo posible simples, cuya interacción sinérgica produce la emergencia de la solución de algún problema.

**Proposición 2:** La inteligencia colectiva artificial es un fenómeno de ruptura espontánea de simetría en algún programa resolutor de problemas.

## 5 Aplicación

### 5.1 Problema por resolver

Para algún entorno como el descrito en la figura 5, se quiere encontrar la ruta de un punto A hacia otro punto B evitando obstáculos y, en lo posible, que este recorrido sea mínimo en distancia.

Este problema se puede resolver por varios enfoques clásicos [1], en este caso diseñaremos un sistema colectivo de hormigas virtuales.

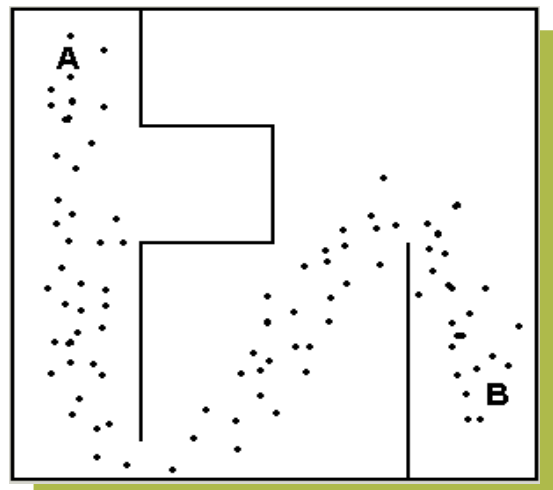


Figura 5: Comportamiento e interacción de las hormigas virtuales en un entorno.

### 5.2 Sistema colectivo artificial

Cada hormiga virtual es una estructura de datos compuesta de *posición* en el mundo (coordenadas x e y), *dirección* (ocho posibilidades: adelante, atrás, derecha, izquierda y las cuatro restantes combinaciones), *estado*

(excitada o no excitada) y *velocidad*. El algoritmo que hace interactuar al sistema es:

1. Inicializar  $n$ -hormigas, todas situadas en  $A$ , de orientación aleatoria, estado no\_excitada y velocidad determinada
2. Para cada hormiga, repetir los pasos 3, 4, 5 y 6
3. Calcular la orientación
4. Actualizar la posición de las hormigas
5. Calcular el estado de las hormigas
6. Actualizar el entorno
7. Graficar la intensidad de feromonas en el entorno (recorrido óptimo)

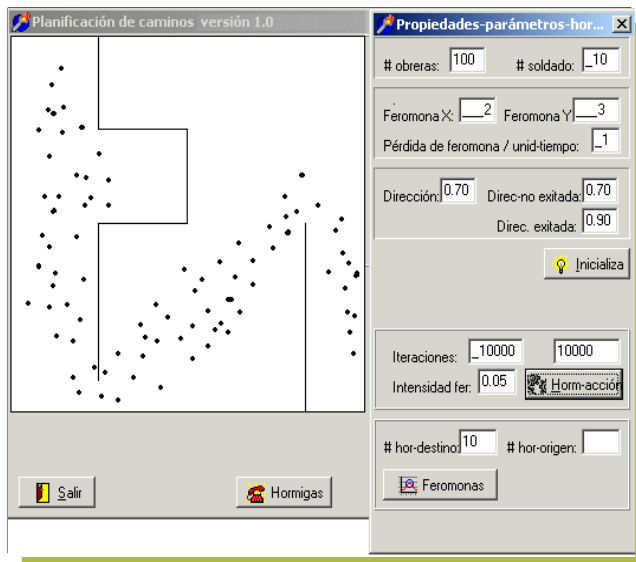


Figura 6: Presentación de la aplicación desarrollada en Delphi 6.0 que simula el comportamiento de hormigas virtuales.

**Orientación:** En base a una probabilidad de selección de dirección  $p_0$ , generar un número aleatorio entre 0 y 1. Si ese número supera  $p_0$ , entonces generar al azar una de las 8 direcciones siempre que no haya colisión con objetos; en caso contrario, analizar la presencia de feromonas de dos maneras: i) si el estado de la hormiga es no\_excitada, con una probabilidad  $p_1$  escoger la dirección de la celda con mayor feromona y, ii) si la hormiga está excitada, con una probabilidad  $p_2$  escoger la celda con mayor feromona.

**Avance:** Si la posición siguiente que indica la orientación no es un obstáculo, la hormiga avanza dejando

unas unidades de feromonas según este excitada o no (varios etólogos han comprobado que la emisión de feromonas de una hormiga depende de su estado [13]).

**Estado:** Si la posición actual de las hormiga es el objetivo y la hormiga no está excitada, entonces modificar su estado a excitada e incrementar la velocidad. Si la posición actual de la hormiga es el punto inicial y la hormiga esta excitada, se modifica el estado a no\_excitada siempre y que haya pasado mucho tiempo divagando (se recomienda hacer ensayos controlando la vida temporal de las hormigas virtuales y también considerar la complejidad de su entorno).

**Actualización del entorno:** Cada unidad de tiempo, la cantidad de feromonas se evapora en algún factor.

El anterior algoritmo así como sus reglas pueden ser modificadas para su posterior experimentación. Debe notarse que la reglas son explícitas para el comportamiento de cada elemento del sistema colectivo pero no especifica la intención global de construir la ruta óptima de un punto a otro, sin embargo, esta ruta se genera de forma implícita observando los “picos” de intensidad de feromonas liberadas por las hormigas en el entorno.

Desarrollando el programa de simulación en Delphi 6.0 (figura 6) se pueden observar algunos resultados en las figura 7.

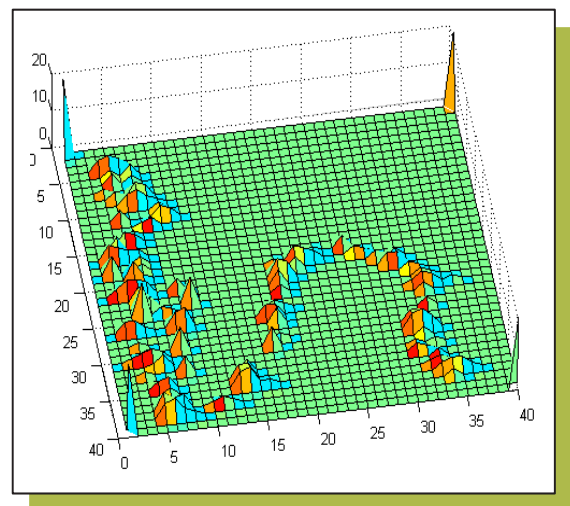


Figura 7: Graficación de la intensidad de feromonas en el entorno

## 6 Comentarios y conclusiones

Los comportamientos naturales organizados que despliegan los sistemas colectivos son de naturaleza compleja, la mayoría de los estudios reflejan que son sistemas emergentes donde no se predefine la evolución y se observa una dinámica impredecible. Algunos sistemas tienen dinámica caótica y es difícil, sino imposible, establecer algún comportamiento coherente, sin embargo, esos comportamientos son tan curiosos que nos alientan a estructurar alguna teoría que lo explique: pero es irónico, se realizan programas cuya ejecución está fuera del contexto de la intención del programa; este evento ya le sucedió a Christopher Langton cuando empezó el estudio de la vida artificial, también le sucedió a Tom Ray con su programa Tierra.

Una de las aplicaciones de la inteligencia artificial se dirige a resolver ciertos problemas complejos. La intención de este trabajo fué mostrar que se puede conseguir inteligencia artificial de sistemas colectivos que interactúan con reglas que no precisamente expresan gran contenido de conocimiento sobre la resolución de algún problema. La solución del problema, como lo dijimos antes, es una propiedad holística emergente de las especificaciones reduccionistas sobre los elementos del sistema resolutor.

## Referencias

- [1] Ramiro Aguilar (2000). Navegación inteligente del robot autónomo AmigoBot. *Revista de Modelaje y Simulación*. Vol 3, Nro 1.
- [2] Ramiro Aguilar (1999). Agentes autónomos adaptativos. *Revista de modelaje y simulación*. vol 2, Nro 1.
- [3] Águeda del Abril, et.al. (1999). *Fundamentos biológicos de la conducta*. Ed. Sanz y Torres. Madrid, España.
- [4] E. Bonabeau, M. Dorigo, G. Théraulax. (1999). *Swarm intelligence: from natural to artificial systems*. Oxford University Press.
- [5] Rodney Brooks. (1999). *Cambrian intelligence: the early history of the new AI*. MIT Press.
- [6] Germinal Cocho, Pedro Miramontes. Patrones y procesos en la naturaleza. La importancia de los protectorados. *Ciencias* 59. Julio-Septiembre 2000. UNAM.
- [7] Steven Johnson (2001), *Emergence, the connected lives of ants, brains, cities and software*, The Penguin Press.
- [8] Gustavo Martínez. Una aproximación a los sistemas complejos. *Ciencias* 59. Julio-Septiembre 2000. UNAM.
- [9] Octavio Miramontes. Orden y caos en la organización social de las hormigas. *Ciencias* 59. (Julio-Septiembre 2000). UNAM.
- [10] Juan M.R. Parrondo. Las matemáticas de la opinión pública. *Investigación y Ciencia*. Prensa Científica. Barcelona, España. Octubre de 2001.
- [11] L. Steels, R. Brooks. (1995) *The Artificial life route to artificial intelligence: building embodied, situated agents*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- [12] J. Sudd, N. Franks (1987). *Behavioural ecology of ants*. Kluwer Academic Publishers
- [13] Edward O. Wilson (2001). *Sociobiología: la nueva síntesis*. Ed. Omega. Madrid, España.
- [14] Michael Wooldridge (2002). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley.