



“Las reglas mediante las cuales los insectos sobreviven resultan estar perfectamente adaptadas al hormiguero de las nuevas tecnologías”

Marco Dorigo, director de investigación del IRIDIA

## En línea con: Marco Dorigo

El pasado mes de febrero Juan José Sánchez Águila-Collantes tuvo la ocasión de charlar con el Dr. Marco Dorigo director de investigación del laboratorio IRIDIA (Institut de Recherches Interdisciplinaires et de Developpements en Intelligence Artificielle) en la Universidad Libre de Bruselas, fundador del área de investigación de inteligencia en enjambre y coordinador del proyecto internacional *Swarmoid*.

**bit** Buenas tardes Marco. En el año 2001 comienzas con el proyecto *Swarm bots*, recientemente finalizado. ¿Cómo te surge la idea de trabajar con la inteligencia en enjambre y los robots a un doctor en ingeniería de sistemas e información electrónica como tú?

Dr. Marco Dorigo (MD): Cuando estaba realizando mis estudios de doctorado en Milán, pertenecía a un grupo de inteligencia artificial y en general me interesaban los nuevos enfoques de desarrollo de sistemas de control y métodos de optimización. En esa época también comencé a trabajar con un pequeño robot y traté de aprender a controlarlo mediante el empleo de algoritmos genéticos y aprendizaje de refuerzo. En esa misma época también me interesaba la utilización de los algoritmos genéticos para la optimización. En un momento determinado durante el doctorado asistí a varias charlas de biólogos que explicaban el comportamiento de las colonias de hormigas. En alguna de ellas presentaron unos experimentos en los que demostraban que las colonias de hormigas son capaces de encontrar el camino más corto a una fuente de alimento siguiendo sus huellas y crearon modelos que explicaban este comportamiento. En este punto

pensé que sería interesante intentar resolver problemas de optimización con agentes artificiales de software a los que denominé “hormigas artificiales”.

Así que, durante el doctorado desarrollé un nuevo tipo de algoritmos de optimización denominado “optimización de la colonia de hormigas”. Este tipo de algoritmos, que ahora es bien conocido en la comunidad investigadora, es un ejemplo de sistema basado en la inteligencia en enjambre y que también funciona muy bien.

Seis o siete años más tarde, comencé a pensar que la inteligencia en enjambre podría ser muy interesante para controlar grupos de robots que colaboran en la resolución de problemas. Así, de esta manera, nació la idea del proyecto *swarmbots*.

**bit** Este proyecto se orientó hacia el estudio de nuevos enfoques en el diseño e implementación de artefactos autoorganizativos. Para lograrlo has trabajado con robots fundamentales—los *s-bots*—interaccionando y el apoyo de la simulación, mecanismos de control basados en inteligencia en enjambre y algoritmos de aprendizaje, ¿podrías resumirnos brevemente como fue el experimento?

MD: Sí, el mecanismo de funcionamiento era el siguiente: Cuando comenzamos el proyecto decidimos cómo serían los robots y sus principales características en términos de sensores, impulsores, programación...pero se tardó un tiempo antes de que pudiéramos construir los robots físicamente, dos años en nuestro caso. Así, mientras esperábamos a que los robots estuvieran listos, comenzamos a trabajar con simulaciones. Simulamos robots y ello nos fue doblemente útil: Primero, porque pudimos realizar experimentos que no habríamos podido hacer hasta que hubiésemos dispuesto de los robots. De esta forma pudimos comenzar a trabajar escribiendo los controladores antes de tener a los robots y segundo pudimos verificar si las características de los robots que habíamos elegido tener eran las que necesitábamos para resolver los problemas que estábamos planteando. Por ejemplo, decidimos dotar a los robots con una agarradera y pretendíamos que fueran capaces de acoplarse unos a otros. Comenzamos a realizar simulaciones y descubrimos que había un sensor específico, denominado sensor de tracción, que permitía a los robots sentir si estaban acoplados a otro o no en el que no habíamos pensado, así que decidimos

añadir este sensor al robot real. Hicimos muchos experimentos y simulaciones en particular para resolver problemas que requerían cooperación y comenzamos a permitir a un grupo de robots transportar un objeto muy pesado, algo que un solo robot era incapaz de realizar solo. También estudiamos como hacer que un grupo de robots pasara por encima de un hueco de forma que un solo robot se caería en él, pero si los robots se encontraban acoplados formando un robot más grande podrían hacerlo. Y estudiamos como hacer que un grupo de robots cooperase para encontrar objetos que pudieran ser acarreados de forma que algunos de los robots buscaban a los otros robots que utilizando la información ofrecida por los primeros se encargaban de localizar el objeto y trasladarlo al punto de destino. Hicimos un determinado número de experimentos y simulaciones y luego cuando los robots estuvieron listos comenzamos a verificar los resultados de nuestros experimentos de simulación con los robots reales.

**bit** En relación a éstos, ¿cómo se diseñó la comunicación entre los robots?

MD: Uno de los principios básicos de la inteligencia en enjambre es emplear solo comunicaciones locales y no comunicaciones globales. La razón para ello es que deseamos que el sistema sea escalable lo que significa que si el control funciona para diez robots también debería funcionar para cien o incluso para mil robots. Si se emplean comunicaciones globales esto es mucho más difícil. También queríamos evitar tener un único robot a cargo de controlar a los demás, de forma que cada robot debería cooperar con los otros pero no debería haber ninguno con la única responsabilidad de ello. Nuestros robots se comunican localmente empleando básicamente luz y colores aunque también pueden utilizar el sonido (de forma que pueden emitir y detectar sonido pues tienen altavoces

y micrófonos). También se comunican a través de los sensores de tracción de forma que cuando están acoplados a los demás sienten fuerzas como el empuje o la tracción de otros robots sobre ellos.

**bit** O sea que estamos hablando de muchos tipos de sensores

MD: Sí, sí, sí, los robots llevan incorporada una cámara de vídeo que les permite una visión de 360° a su alrededor, tienen micrófonos, sensores de luz, de infrarojos, de tracción, pueden emitir luz, tienen muchos motores, llantas de oruga, agarradera, la torre (o parte superior del robot) puede rotar respecto a las llantas. En definitiva, son bastante complejos.

**bit** Como el proyecto en sí, con carácter internacional y en el que participan organizaciones de diversos países

MD: Sí, este es un proyecto que solo podría haber tenido lugar a escala europea porque necesitábamos aunar muy diversas competencias. Así, por ejemplo, teníamos el grupo encargado de construir el robot en Lausanne (Suiza), un grupo de expertos a cargo de construir el simulador en Lugano (Suiza). Teníamos un grupo en Roma (Italia) de expertos en robótica evolucionista, que fue el responsable de desarrollar controladores para los robots y luego estaba mi grupo en Bruselas (Bélgica), experto en inteligencia en enjambre y el diseño de controladores basado en los principios de la inteligencia en enjambre.

**bit** Sin duda, un proyecto complejo, complejo hasta en su coordinación

MD: La coordinación nunca es fácil, pero en este caso, no se trataba de un gran proyecto, cuatro entidades colaborando es razonable y los científicos jefe de los distintos grupos habían estado trabajando juntos durante muchos años, así que conocían muy bien a los demás y nosotros sabíamos como trabajar juntos.

**bit** El proyecto ha durado 42 meses, finalizando en 2005. ¿Cuáles ha sido tus principales conclusiones?

MD: La principal es que es posible construir estos robots, que es posible tener 20 ó 30 de ellos cooperando juntos, que es posible controlarlos empleando controladores muy simples en vez de un software muy complicado. Nuestros controladores son muy simples y están basados en una metodología probabilística. Los robots no tienen un modelo del entorno. Tan solo reaccionan de forma probabilística a lo que sienten y aún pueden hacer lo que se les pide. De esta forma aprendimos que es muy importante, con este tipo de experimentos, diseñar los robots de forma que sean compatibles con el tipo de controlador y los comportamientos que se desea que desarrollen.

**bit** ¿Se han podido también extraer conclusiones sobre el trabajo en equipo que sean aplicables a entornos "humanos"?

MD: Bueno, los humanos son seres muy complejos a la par que inteligentes, de forma que cuando un grupo de seres humanos cooperan, intentan hacerlo bien. En este caso teníamos robots muy estúpidos que intentaban cooperar con muy pocas aptitudes. No creo que lo que hayamos aprendido pudiera ser aplicado a los humanos.

**bit** Bueno, y después de todo ello se abre una nueva fase. Pasar de los *swarmbots* a los *swarmanoids*, un nuevo proyecto. En el proyecto *swarmbot* sólo se trabajaba con un único tipo de robot, pero en este caso se introdujeron distintos patrones de robots. De esta forma la complejidad se incrementa. ¿Qué son los *enjambroides* y en qué medida están relacionados con los humanoides?

MD: Sí, la complejidad se incrementa, pero todavía permanece muy muy lejos de los seres humanos. El nombre *swarmanoid* no se eligió porque estuviéramos pensando en

hacer un robot de aspecto humano o algo parecido a un humano.

Hay una rama de la robótica centrada en la construcción de robots humanoides. Esto viene inspirado por una visión antropocéntrica que ve a los robots del futuro más y más cercanos a los seres humanos. En otras palabras, según los robots van siendo más y más inteligentes van adquiriendo más y más similitudes con los humanos.

Nuestro enfoque es completamente diferente. Deseamos construir robots que convivan en su entorno con los seres humanos, de forma que mantuvimos el sufijo "oide" en su denominación, pero queríamos que su comportamiento se basase en los principios del enjambre. Esta es la razón del nombre "enjambroide". De esta forma en el futuro lejano puede que haya muchos robots pequeños que estén en la casa o en cualquier entorno humano y comiencen a hacer algo cuando sea necesario. Pueden colaborar, acoplarse a otros para constituir robots más grandes si es necesario y cuando ya no sea necesario permanecer fuera de la vista. Así, por ejemplo, imagina que tienes un tipo de pequeños robots que están en un edificio y se mueven solo cuando hay un problema, como por ejemplo un incendio o un terremoto y en ese momento comienzan a moverse buscando personas u objetos o pueden incluso ayudar a los bomberos o a la gente que hay en el interior del edificio a encontrar la salida. Otras cosas que pueden hacer es permanecer en la casa contribuyendo así a mantener las cosas ordenadas, pero en cualquier caso no se trataría de una gran máquina de apariencia humana.

**bit** Y entonces, ¿cómo prevés que sea el futuro, con humanoides, "enjambroides" o tal vez con una mezcla de ambos?

MD: Creo que existen dos posibilidades y no sé cuál de ellas será la predominante, pero una propiedad interesante de los sistemas en enjam-

bre es que están formados por muchos individuos que son intercambiables, así que si algunos de ellos se rompen o no funcionan adecuadamente pueden ser sustituidos fácilmente por otros miembros del enjambre. Imagina que envías a la Luna tres robots para realizar una tarea. Si uno de ellos se rompe habrás perdido el 33% de lo que enviaste. Si envías mil robots mucho más simples y capaces de cooperar y pierdes diez de ellos, tan solo habrás perdido un 1%. Así que la idea es que si somos capaces de hacer que sean lo suficientemente baratos de tal manera que no importe cuando se rompan, esto haría que el sistema fuese mucho más robusto.

**bit** Está previsto que el proyecto *Swarmanoid* finalice en 2009. ¿Cuál es su estado actual?

MD: Estamos comenzando a valorar qué apariencia tendrán los robots y qué vamos a hacer y... bueno... acabamos de comenzar hace tres meses, así que estamos en la fase de tormenta de ideas, comenzando a construir el simulador porque esta vez necesitamos un simulador tridimensional ya que no podemos usar el que teníamos antes.

**bit** ¿Y emplearéis los mismos principios para las comunicaciones entre los robots?

MD: Sí, también utilizaremos comunicaciones locales basadas fundamentalmente en luz, colores y algún sonido. Podríamos utilizar también comunicación inalámbrica como Wi-Fi.

**bit** ¿Qué esperas añadir al proyecto *swarmbot*?, quiero decir, ¿qué objetivos esperas alcanzar en 2009 cuando finalice el proyecto?

MD: Espero ser capaz de demostrar un bonito experimento en el que los robots puedan moverse alrededor de una gran habitación. Algunos de ellos – los voladores – buscarán los objetos y los otros en colaboración (*footbots* y *handbots*) se desplazarán y los acar-

rearán a un lugar determinado, pero esto se desarrollará en un espacio tridimensional así que el objeto a trasladar podría estar en una estantería de forma que los *handbots* tendrán primero que llegar a la estantería y posteriormente acarrear el objeto.

**bit** ¿Podrías contarnos alguna anécdota o algo que recuerdes especialmente en relación a estos proyectos?

MD: Una cosa interesante es que cuando comienzas un proyecto tienes una idea general, objetivos generales, sensaciones, esperanzas pero no sabes exactamente lo que vas a hacer. Y de hecho lo que hemos observado es que tus expectativas al comienzo son muy diferentes de lo que obtienes al final así que yo no podía ni imaginar que íbamos a acabar teniendo robots de este tipo y realizando los experimentos que al final hicimos cuando comenzamos con el proyecto *swarmbot*.

**bit** Y para finalizar, situate en 2009 con el proyecto *swarmanoid* concluido, ¿qué nuevo proyecto te gustaría emprender? ¿Cuál sería tu principal motivación?

MD: Una cosa en la que quiero trabajar en el futuro es los robots autoreproductores así que me gustaría estudiar los principios subyacentes a la reproducción y comenzar construyendo un robot muy simple con alguna capacidad reproductora. No son míos, pero ya hay algunos trabajos en esa línea para casos muy simples. En cualquier caso es un problema muy difícil y podría ser el que acaparase mi atención tras esto, aunque todavía no estoy seguro de ello.

**bit** La verdad es que suena apasionante. Muchas gracias. Te deseamos mucha suerte en tus próximas iniciativas y te invitamos a volver a charlar con nosotros cuando lo desees.

MD: Muchas gracias. ♦