

# Autoorganización en miniatura

Brenda Garduño-Sánchez

Junio 11, 2019

No. 39/2019

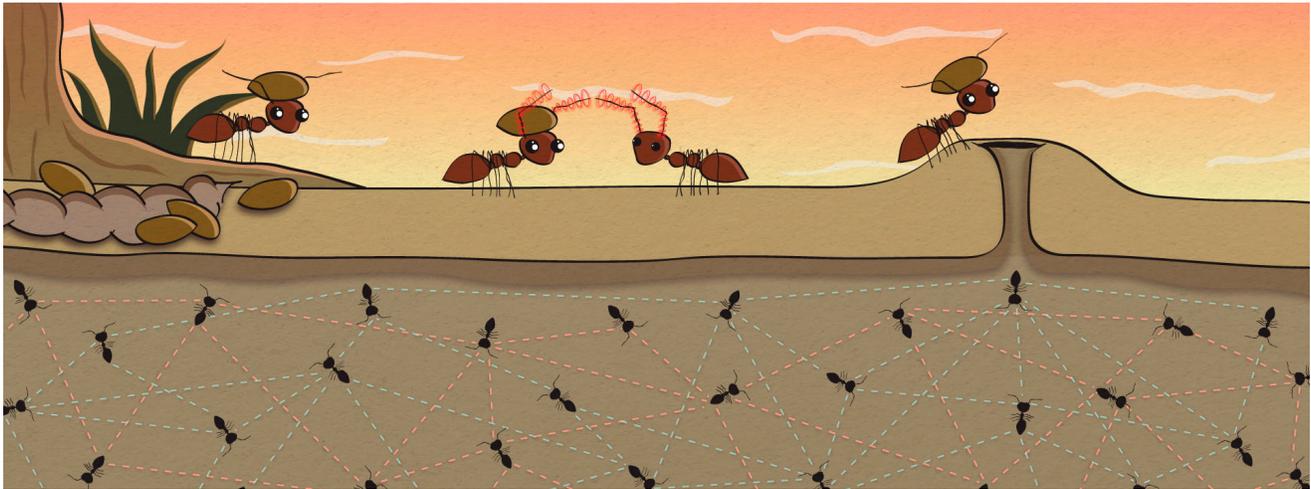


Ilustración: Fabiola González Ostiguín, 2019

*“¡Estoy perdida!, ¿dónde va la fila?”*  
A Bug’s Life, 1988

El comportamiento colectivo de las hormigas, similar al movimiento de las parvadas o el de los cardúmenes, parece seguir un régimen anarquista sin un líder evidente que las dirija. Para Deborah Gordon, doctora en zoología e investigadora de la Universidad de Stanford, este comportamiento resulta fascinante.

“Estudio a las hormigas porque me interesan los sistemas que funcionan sin un control central o líder”, explicó a la audiencia asistente a la conferencia magistral *Redes de hormigas: la anarquía inteligente* que impartió el pasado 25 de mayo dentro de la tercera edición del festival de arte y ciencia *El Aleph*.

Sin un control central, la organización de la colonia depende de cómo los individuos responden a la información local lo que resulta en un proceso de autoorganización. “Tenemos que intentar entender cómo las interacciones entre los individuos se conjuntan para crear ese resultado [...] [donde] el todo es más que las partes”, dijo la autora del libro *Ant Encounters: Interaction Networks and Colony Behavior (Primers in Complex Systems)* y *Ants at Work: How an insect society is organized*.

## AUTOORGANIZACIÓN

Estudiar hormigas no es tarea sencilla. Cual investigadores privados, los zoólogos deben seguir a esos pequeños insectos desde muy temprano en la mañana, cuando la primera hormiga sale de la colonia, hasta el regreso del batallón horas después. Durante todo este tiempo los científicos no pueden perder de vista a su objeto de estudio. Estas observaciones han permitido a los investigadores conocer el comportamiento del hormiguero.

Gordon y su grupo de trabajo estudiaron la búsqueda de comida en una colonia de hormigas [cosechadoras rojas](#) que se alimentan de semillas en el desierto de Arizona. Al proceso de buscar comida se

le conoce como forrajeo. Encontraron que sólo el 25% de la colonia se dedica al forrajeo y entre estas hormigas, algunas se dedican a la colecta de semillas y otras al patrullaje del hormiguero.

Cada mañana, las hormigas de patrullaje son las primeras en salir para evaluar la zona de forrajeo. Es el regreso seguro de las patrulleras al nido lo que estimula a que las recolectoras salgan. “Si las patrulleras no regresan las colectoras no emergen”, escribió Gordon y Michael J. Green en la introducción de un artículo publicado en la revista [Behavioral Ecology](#).

Al salir de la colonia, las hormigas de patrullaje están expuestas a condiciones adversas. Cada minuto que permanecen fuera pueden sufrir deshidratación debido a las altas temperaturas y baja humedad del ambiente en el ecosistema. El colectivo enfrenta una decisión importante: elegir el momento propicio para salir a buscar comida.

“Para obtener comida gastan agua, pero si hay suficientes semillas el agua perdida puede recuperarse gracias al consumo de las semillas”, explicó durante la conferencia la responsable de [The Gordon Lab](#). De esta forma, si hay un gran número de semillas fuera del hormiguero es más probable que las hormigas salgan a recolectar.

Gordon y su equipo de trabajo sospecharon que el factor determinante en la tarea de recolectar semillas era el tiempo que tardan las hormigas patrulleras en regresar al hormiguero (tiempo de llegada). Para corroborar su hipótesis, los investigadores [evaluaron](#) cómo la información temporal, en particular la tasa de interacción entre las cosechadoras rojas que patrullan y las que colectan las semillas, estimula el forrajeo.

## SEÑALES QUÍMICAS

La cutícula que recubre el cuerpo de las hormigas está constituida por diferentes tipos de grasa. “Las hormigas huelen con sus antenas la grasa de la cutícula que recubre el cuerpo de las otras hormigas. De esta forma es que logran comunicarse”, explicó Gordon durante su ponencia.

Para probar si el contacto entre las hormigas que patrullan y las colectoras debe ocurrir con cierta frecuencia para que se estimule el forrajeo, los investigadores introdujeron a la colonia “falsos patrulladores” (canicas de cristal cubiertas con un extracto de la cutícula de las verdaderas hormigas encargadas del patrullaje) a distintos tiempos.

Para ello colectaron, muy temprano por la mañana, a las hormigas que salían de la colonia para patrullar. Estas hormigas se identifican fácilmente porque realizan movimientos circulares alrededor del hormiguero. Posteriormente, extrajeron y purificaron los lípidos de la cutícula de estas hormigas para poder almacenarlos en un tubo que contenía canicas de 3 mm de diámetro.

Con las canicas cubiertas con los lípidos de las cutículas de las hormigas de patrullaje los investigadores lograron simular su llegada a la colonia colocando las “canicas disfrazadas” y estimulando la salida de las recolectoras. Con este método probaron distintos tiempos de “llegada” de las hormigas patrulleras. Observaron que entre menos tiempo se tardan en poner en contacto a las canicas con las hormigas recolectoras, el número de hormigas que salían a buscar semillas era mayor.

Así, demostraron que el tiempo en el que se da la interacción entre las hormigas patrulleras con las recolectoras es esencial para determinar la tarea a realizar en el hormiguero y que el comportamiento de las hormigas no es azaroso, sino que responde a un fenómeno complejo de autoorganización.

Sin embargo, las tareas a realizar dentro del hormiguero no solo están determinadas por las interacciones entre hormigas. “El comportamiento colectivo [también] está embebido en el ambiente [...] y por lo tanto está respondiendo constantemente a los cambios en éste”, dijo Gordon. Es decir, que no basta la interacción entre hormigas para determinar el comportamiento de forrajeo, también es importante la interacción con el ambiente.

## DEL DESIERTO DE ARIZONA A LA SELVA EN CHAMELA

Los investigadores decidieron evaluar el forrajeo en un ambiente distinto al de Arizona. Fue así como Gordon viajó a la selva baja caducifolia de México en la [Estación de Biología Chamela](#) de la UNAM en Jalisco. En comparación con el desierto, el ambiente en Chamela es más húmedo y menos caluroso.

En este ecosistema la búsqueda de comida ya no ocurre a nivel del suelo. En su [investigación](#), Gordon observó que las hormigas construían los caminos de búsqueda de comida sobre las ramas entrelazadas de los árboles y que raramente descendían de éstos.

Para saber dónde hay comida y decidir qué rama seguir, las hormigas, cual migajas en el cuento de *Hansel y Gretel*, “utilizan compuestos que son perceptibles para su olfato, las feromonas, marcando así el camino hacia la comida”, explicó Gordon.

En este ambiente el modelo de estudio de Gordon fue la [hormigas tortuga](#). Sobre el nombre con el que se conoce a esta hormiga Gordon bromeó, “no sé por qué se llaman así, a mi se me asemejan más a Darth Vader”, haciendo referencia a la apariencia de las hormigas.

## REDES

En la selva, un camino de forrajeo es aquel que usa la hormiga para llegar a los frutos o flores en las ramas de los árboles. Debido al entramado que forman las ramas de los árboles, los caminos de forrajeo forman una red en donde cada intersección entre dos ramas se considera un nodo. Para decidir qué rama seguir, “en cada intersección las hormigas evalúan la intensidad de feromonas. Entre mayor intensidad mayor probabilidad de que por allá haya comida.”

Sin embargo, la lluvia en la selva modifica la ubicación de las ramas de los árboles rompiéndolas o moviéndolas de lugar. ¿Cómo afecta esto la estabilidad del forrajeo en la red de caminos? Para responder esta pregunta, Gordon siguió día tras día, por un periodo de 8 días, los cambios en los caminos.

En el [artículo](#) donde publicó sus resultados escribió: “el único cambio ocurre cuando una rama en el camino se rompe”. Las hormigas resuelven este problema encontrando una rama que ayude a complementar el vacío en el camino.

Para corroborar las observaciones, la investigadora hizo un experimento donde perturbó intencionalmente la red para evaluar su estabilidad ante el cambio. “Fue lo más agresivo que le he tenido que hacer a las hormigas, corté una de las ramas en el camino”, confió a la audiencia.

Encontró que “las hormigas tienden a minimizar el número de nodos en la red” y recalcó que “no es lo mismo esto que encontrar el camino más corto”. Gordon explicó que cada nodo significa una oportunidad de perderse por lo que las hormigas buscan minimizar el número de nodos, su intención no es buscar la ruta más corta a la comida sino evitar perderse. “Cuando nos preguntamos cómo las interacciones locales producen el comportamiento colectivo necesitamos recordar que estos procesos han evolucionado con los cambios ambientales”.

Con estos estudios, la bióloga descubrió que, dependiendo del ecosistema, las hormigas utilizan estrategias diferentes de forrajeo. En el desierto la dinámica del forrajeo es estable ya que las condiciones ambientales casi siempre son las mismas. Sin embargo, en la selva la dinámica es inestable ya que los caminos cambian constantemente.

## COMPORTAMIENTO COLECTIVO EN LA NATURALEZA

Aunque diferimos en muchos aspectos de las diminutas hormigas, parecemos responder de manera similar, un comportamiento colectivo, cuando nos encontramos con un gran número de personas.

Para Gordon, el comportamiento colectivo debió aparecer desde el inicio de la vida en la Tierra, hace 3,600 millones de años. “Lo vemos en bacterias y por supuesto también en nuestras células, en cualquier rincón en la naturaleza el comportamiento colectivo está presente”, dijo en entrevista.

Carlos Gershenson, quien ha utilizado un algoritmo autoorganizante para regular el tránsito de trenes y personas en el transporte público explicó en entrevista vía correo electrónico que “las multitudes también tienden a autoorganizarse ya que el comportamiento de cada individuo se determina por las interacciones que tienen sólo con sus vecinos”.

En correo, el investigador del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas y responsable del programa de Inteligencia Computacional y Modelación Matemática del Centro de Ciencias de la Complejidad de la UNAM, escribió que los investigadores han buscado inspiración en el comportamiento de las hormigas para la resolución de problemas como la regulación de transporte público y la distribución de rutas de automóviles en las ciudades.

“También se ha usado de manera general como un método de optimización”, escribió el académico, y es que en el mundo de las ciencias computacionales un tema de gran discusión es formular algoritmos que generen modelos para la máxima optimización en la resolución de un problema. Un ejemplo es el algoritmo de [ant colony optimization](#) que ha servido de inspiración a otros científicos para estudiar diversos fenómenos.