

A group of black ants is shown working together to move a large, light-colored, circular object. The object has a red dot and two green spots. The ants are positioned around the object, some pushing and some pulling. The background is a plain, light-colored surface.

Trabajo en equipo en grupos de hormigas

The physics of cooperative transport in groups of ants

Ofer Feinerman, Itai Pinkovierzky, Aviram Gelblum, Ehud Fonio and Nir S. Gov

Motivaciones

-Es un tema **interdisciplinario**, para mostrar que las materias curriculares están más conectadas.

-**Puerta de entrada:** biológica. Un hecho observable de la naturaleza como disparador de preguntas:



“Todos hemos visto alguna vez una hormiga cargar con su alimento, pero cuando el alimento es grande se necesitan muchas hormigas. ¿Cómo hacen las hormigas para coordinar este movimiento? ¿se comunicarán o cada una “hace la suya”? ¿cómo logran llevar el alimento hacia el nido?”

-Un mismo problema puede ser atacado desde diferentes vías: **la física como herramienta.**

-Conceptos de física que pueden enseñarse: **fuerzas, velocidad, trayectoria.**

-Es una buena oportunidad para dar conceptos de **estadística**. Ley de los grandes números y el modelo de Ising. Tomar una idea como la del modelo de Ising (magnetismo) y llevarlo a otros ámbitos(biológico). ¿Qué otros ámbitos utilizan este modelo?.

-Desafíos computacionales interesantes para llevarse al aula: ¿cómo se puede programar el **tracking de objetos**?

-La conexión entre la biología y la física se hace a través de **un modelo**: ¿cuáles son las hipótesis?¿cuáles son sus límites?

¿Qué es el transporte cooperativo?

- ❑ Ocurre cuando un grupo de animales une fuerzas para transportar un objeto de gran tamaño.
- ❑ Hay pocas especies que realizan esto. Ej: humanos y algunas especies de hormigas.
- ❑ Imaginemos que somos hormigas por un momento...
¿Qué necesitamos?
 - Suficiente energía y suficiente cantidad de hormigas
 - Transporte **eficiente**: “que apuntemos todas en una dirección”
 - Transporte **dirigido**: “que avancemos en la dirección sea la correcta, por ejemplo, la dirección del hormiguero.”



Pesos relativos
5000/1

¿Transporte eficiente?: dos explicaciones posibles

- ❑ Transporte **eficiente**: las hormigas deben tratar de **alinear sus fuerzas**.

Dos modelos para lograr esto:

- ❑ Modelo de **hormigas desacopladas**:

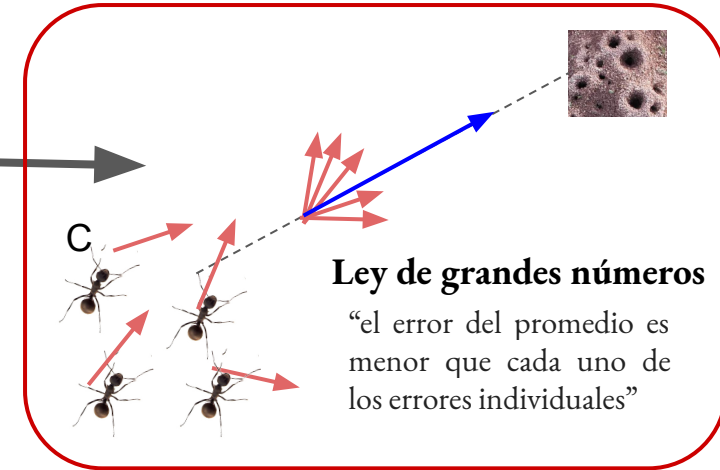
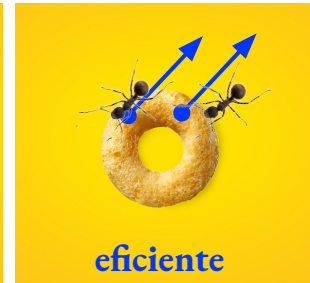
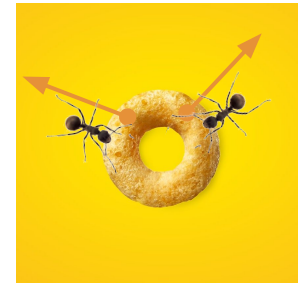
Regla: “eres inteligente”:

- cada hormiga sabe donde está el nido y ejercerá una fuerza en esa dirección.
- cada hormiga actúan **independiente** de las otras
- “Sabiduría de la multitud” (grupos grandes son más inteligentes que un solo individuo experto)

- ❑ Modelo de **hormigas acopladas**

Regla: “estás perdida”

- Las hormigas transportadoras **no saben dónde está el nido**
- Cada hormiga trata de alinear su fuerza con la **dirección actual de movimiento**.



Modelo de hormigas acopladas

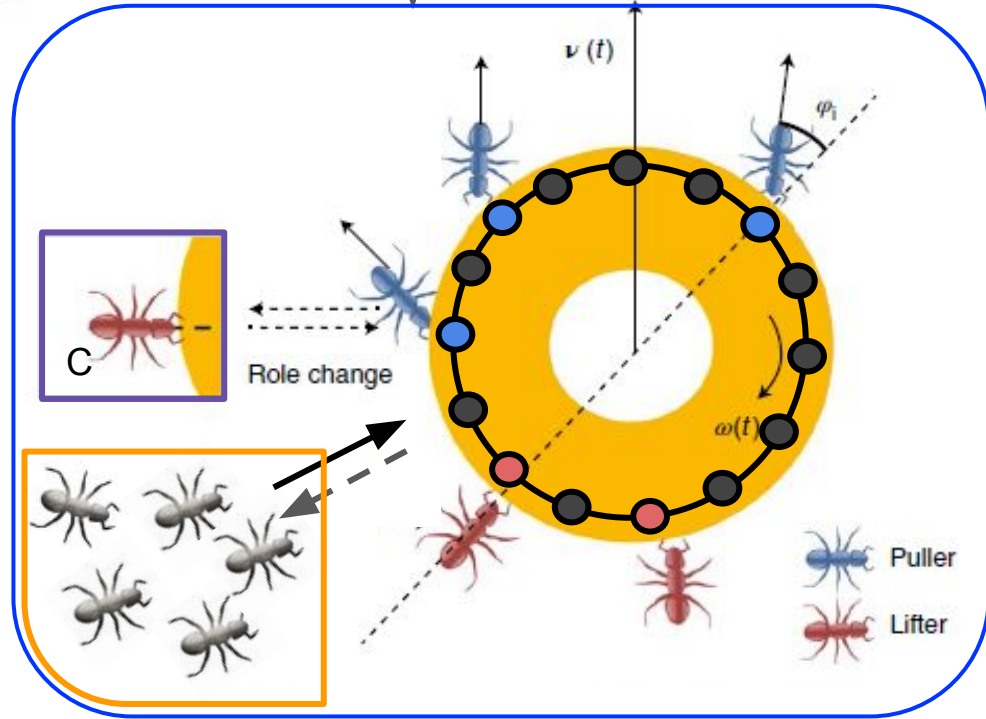


Tiradoras
(pullers)



Levantadora
(lifters)

- ❑ Sistema es **sobreamortiguado** $\bar{v} \propto \bar{F}$
- ❑ **Acoples y desacoples** de hormigas
- ❑ Una hormiga acoplada puede **cambiar de rol** como puller a un rol como lifter y viceversa.
- ❑ ¿Cómo logran aún así **alinear fuerzas**? ¿Cómo el grupo de hormigas logra estar **comunicado**?



Comunicación e intercambio de roles

- Las hormigas se encuentran “comunicadas” sensando la fuerza total en su punto de acoplamiento.

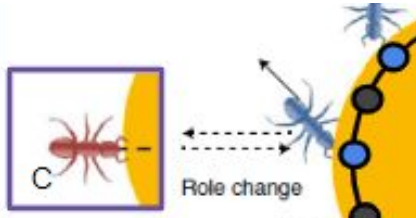
Fuerzas
sensadas

$$\mathbf{F}_{\text{tot}}^i = \mathbf{f}_{\text{cm}} - \mathbf{f}_{\text{rot}}^i$$

$$\mathbf{f}_{\text{cm}} = \mathbf{f}_0 \sum_{i=1}^{N_{\text{max}}} n^i \hat{\mathbf{p}}_i - \mathbf{f}_{\text{kin}}$$

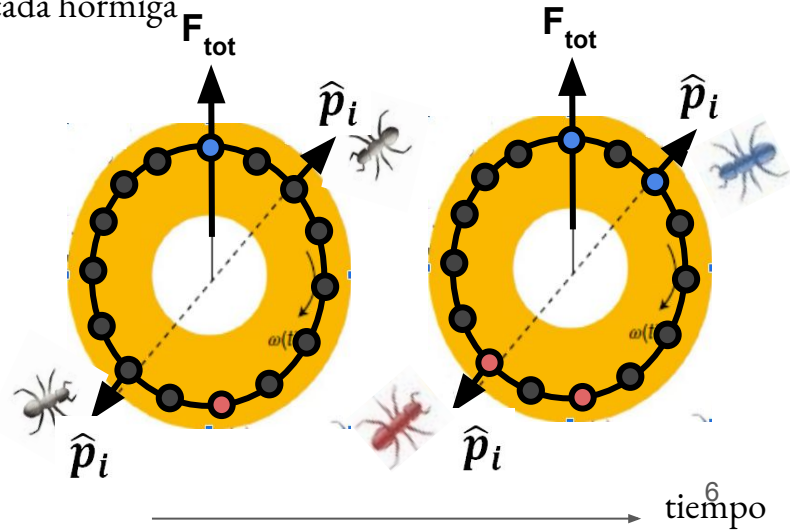
$$\mathbf{f}_{\text{rot}}^i = \frac{\gamma_{\text{rot}}}{b} \mathbf{r}_i \times \boldsymbol{\omega}$$

- La dirección de la fuerza total y la dirección en la que se encuentra cada hormiga determinan **probabilidad de transición**: a lifter y a puller.

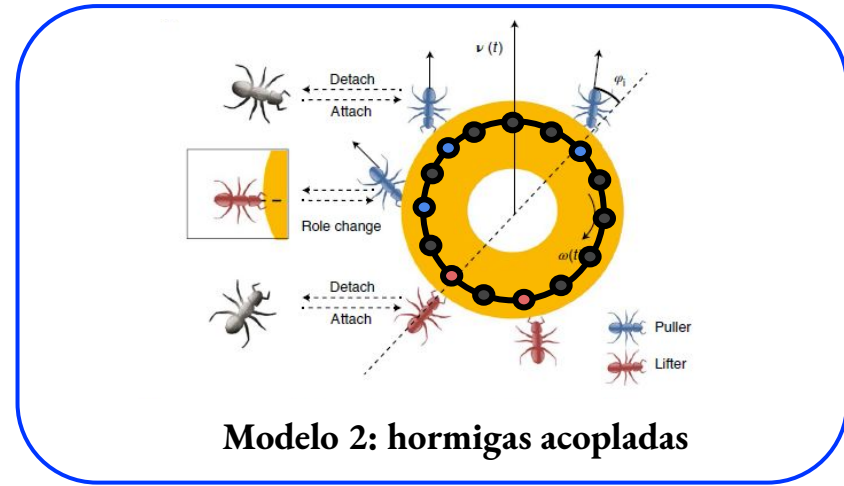
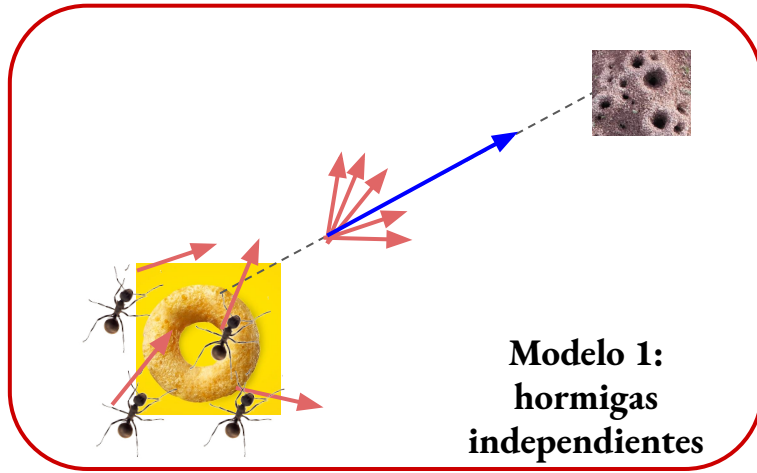


$$r_{l \rightarrow p} = K_c e^{\frac{\hat{\mathbf{p}}_i \cdot \mathbf{F}_{\text{tot}}}{F_{\text{ind}}}}$$

$$r_{p \rightarrow l} = K_c e^{\frac{-\hat{\mathbf{p}}_i \cdot \mathbf{F}_{\text{tot}}}{F_{\text{ind}}}}$$



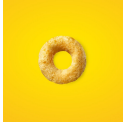
Predicciones de ambos modelos



- ❑ Ambos modelos predicen que a mayor tamaño de hormigas las trayectorias serán más suaves
- ❑ Predice un **perfil de velocidades independiente de la cantidad de hormigas.**
- ❑ Predice que **a mayor cantidad de hormigas**, el alineamiento será mayor, y por lo tanto **mayores perfiles de velocidades**

De la naturaleza al laboratorio

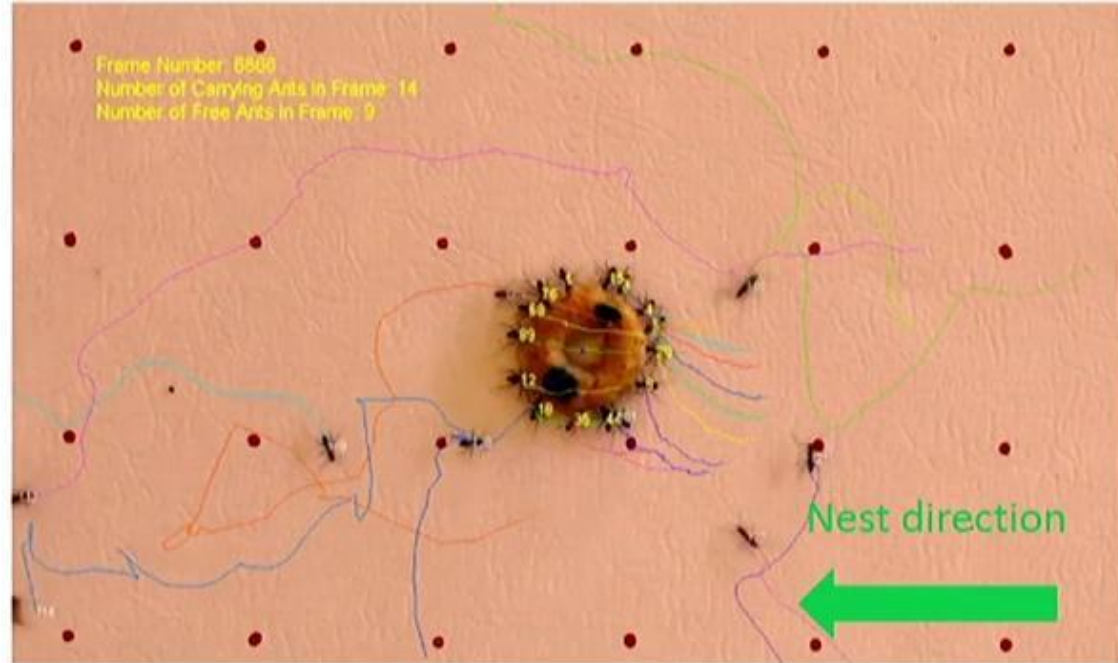
- ❑ **Preparación:** simulan un entorno con un **objetivo** lo más claro posible: llevar el alimento al nido



- ❑ **Experimento:** filman una peli de las hormigas tratando de transportar un alimento



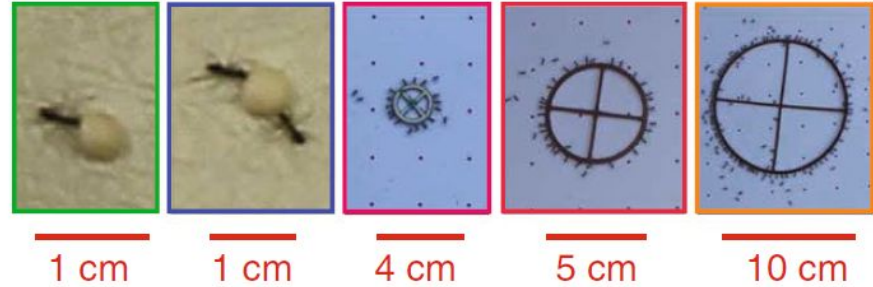
- ❑ **Análisis:** realizan el seguimiento de cada una de las hormigas



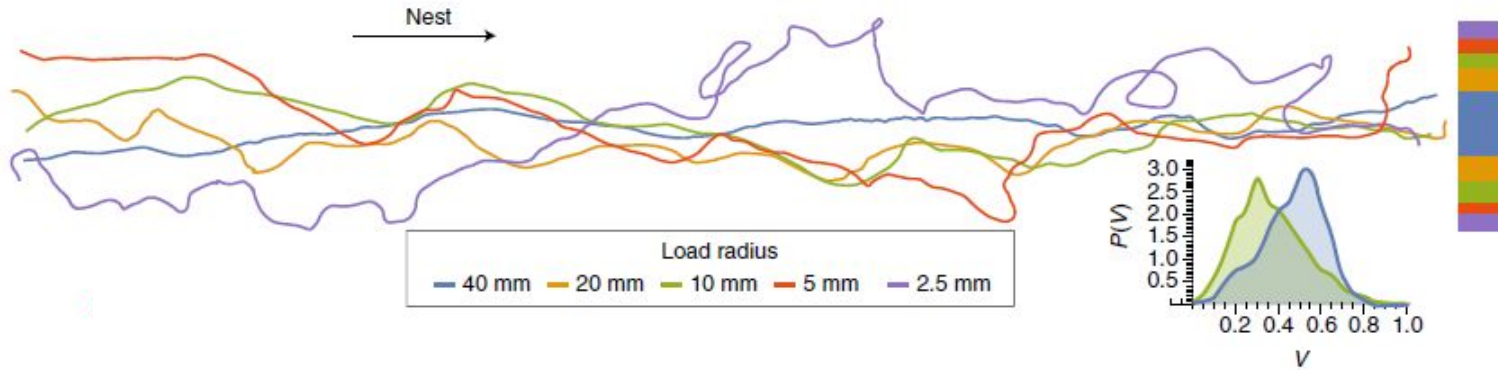
Dirección del nido

Cuanto más somos...“mejor” nos movemos

- ❑ Cargas de diferentes radios (R) para variar el número de hormigas (N) pero manteniendo el cociente constante ($R/N = \text{cte}$)



- ❑ Miden **curvatura** de la trayectoria y **velocidades**



- ❑ Grupos **más grandes** producen **trayectorias más suaves**

- ❑ Grupos **más grandes** poseen **mayor velocidades promedio**

- ❑ Evidencia experimental en favor del **modelo 2 hormigas acopladas**

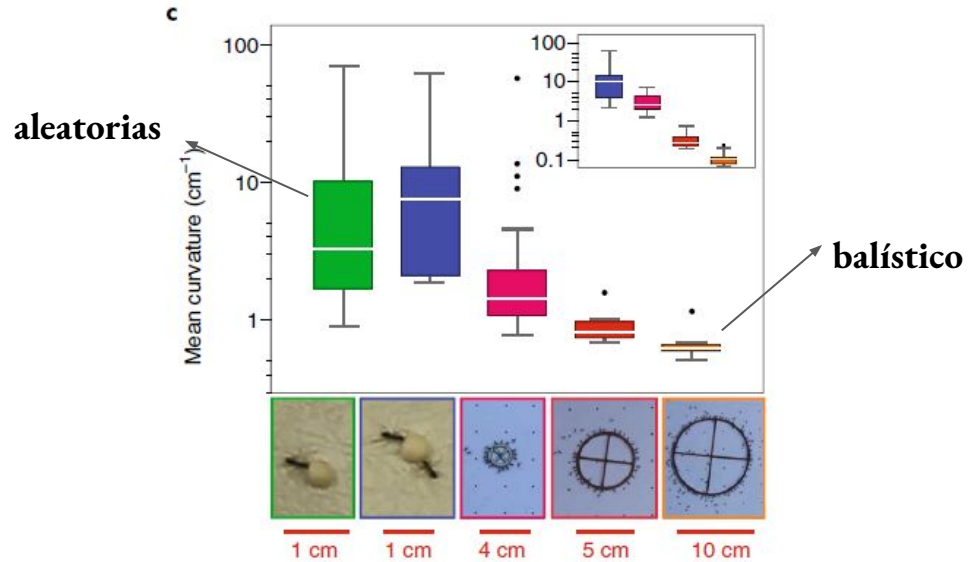
Tirando de la cuerda vs Movimiento coordinado



“Juego de la soga” - Movimiento más **aleatorio**



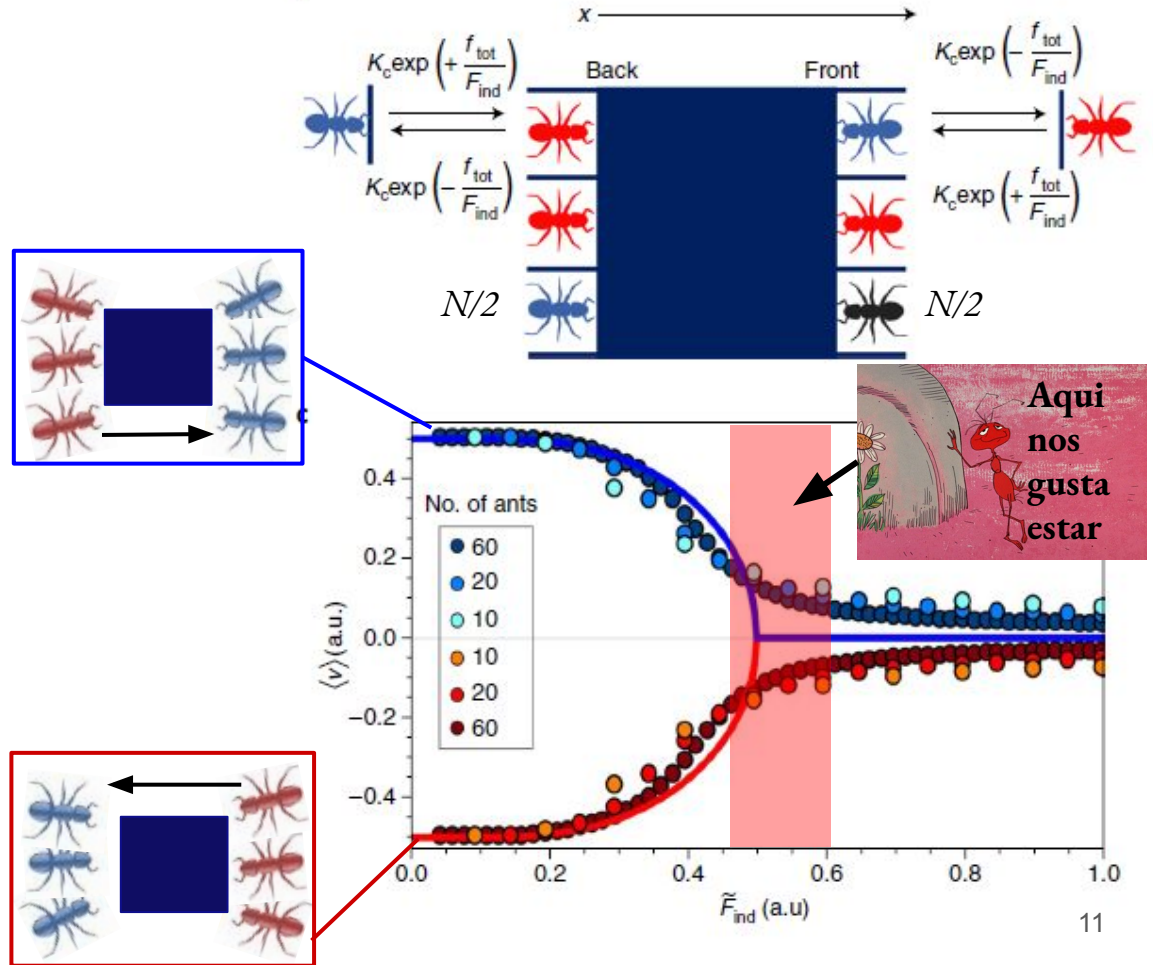
Movimiento **balístico**



- Fiteando los parámetros libres del modelo para que concuerden con las mediciones encuentran que los **grupos de hormigas que se encuentran en un tamaño natural caen en la zona de transición** entre estos dos tipos de movimientos.

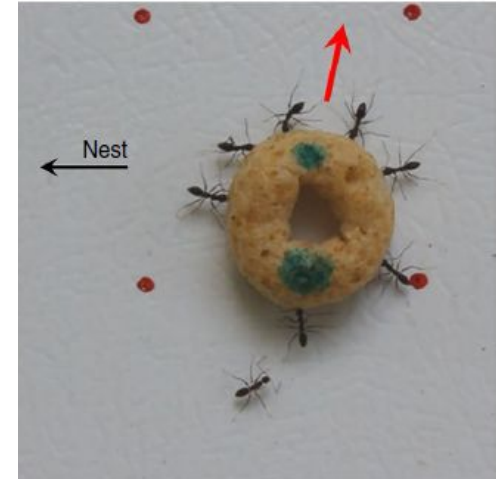
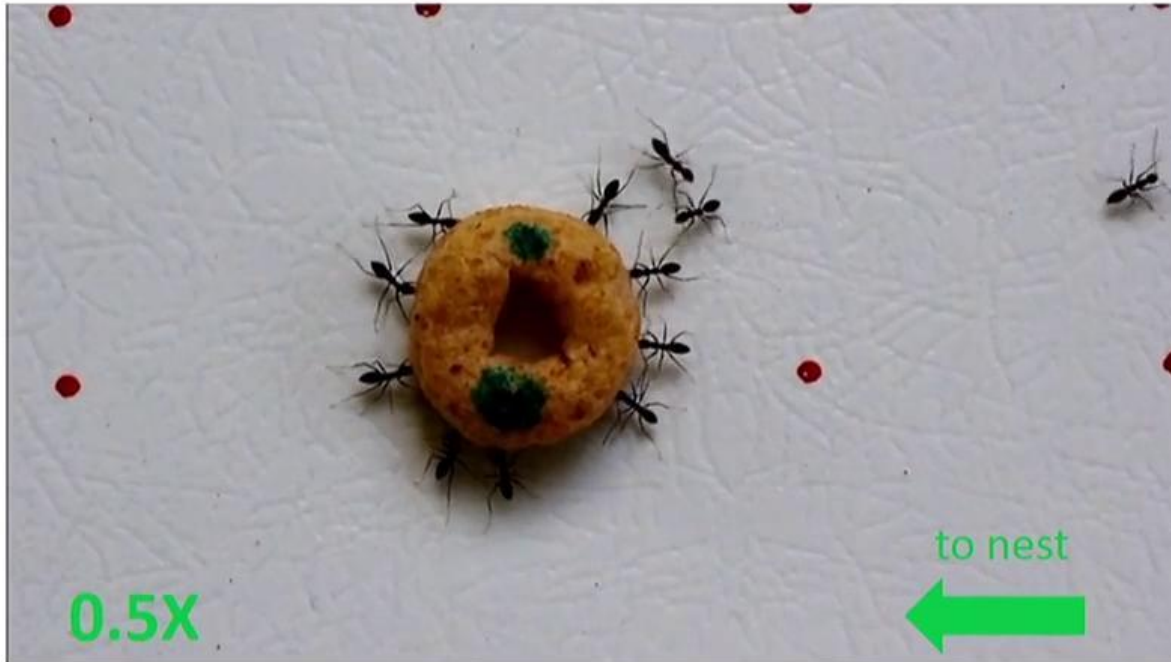
Criticalidad

- ❑ Modelo 1D de **hormigas acopladas**
- ❑ Cada hormiga tiene un **grado de libertad: puller o lifter**
- ❑ **Transición de fase:** desde una zona donde las velocidades promedio son bajas : mov **aleatorio y desordenado**) y al pasar cierto número de hormigas, el sistema realiza una transición a un estado de **movimiento dirigido o balístico**
- ❑ Grupos de hormigas de tamaño mayor comúnmente **observados en la naturaleza se hallan en la zona de transición**



Susceptibilidad y Liderazgo

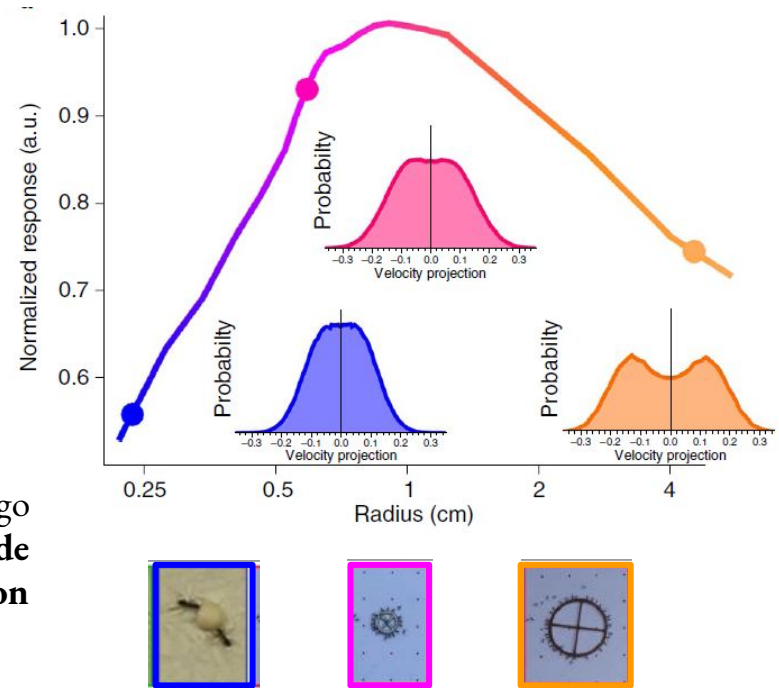
- ❑ En el modelo de hormigas acopladas las hormigas no tiene en cuenta la **direccionalidad**. Falta que el transporte sea dirigido.
- ❑ ¿Cómo estar en la zona de transición es beneficioso para las hormigas?



Dirección equivocada

Influencia de las líderes

- ❑ Existen hormigas líderes que se acoplan y que **no siguen la reglas** de las demás hormigas acopladas. **Siempre tira en la dirección del nido ignorando a las demás.**
- ❑ La inclusión de **hormigas líderes** en este modelo muestran que todo el sistema corrige su dirección.
- ❑ En los puntos de transición de fase de un sistema físico **la respuesta del sistema (susceptibilidad) es máxima** a los pequeños agentes externos.
- ❑ La **respuesta** es la velocidad media en la dirección del nido luego de que se acople una hormiga líder, **es máxima en la zona de transición**. **Las demás hormigas terminan alineándose con esta hormiga líder.**



Conclusiones

- ❑ Modelaron un proceso de transporte cooperativo considerando a las **hormigas como partículas interactuantes con dos estados posibles.**
- ❑ El **modelo de hormigas acopladas** arroja evidencia de ser el adecuado para describir el transporte cooperativo frente al de hormigas desacopladas.
- ❑ La coordinación se lograría gracias a que **cada hormiga sensa la fuerza generada por el grupo entero** y reacciona alineando su fuerza con ellas..
- ❑ El grupo de hormigas parece mostrar dos comportamientos mediados por una transición de fase, grupos pequeños muestran **mov. aleatorio** y grupos grandes un **movimiento balístico**
- ❑ Los tamaños de hormigas que transportan cargas encontrados en la naturaleza se encuentran **en la zona de transición.**
- ❑ En las zonas de transición, el grupo de hormigas **maximizan su respuesta** a pequeños cambios externos como la influencia de **hormigas líderes.**
- ❑ Las hormigas líderes permiten corregir la dirección del grupo y **redirigirla hacia el nido.**

Fin de la presentación



Muchas Gracias;