



# FÍSICA COMPUTACIONAL 2

Daniel Henao  
Santiago Tabares  
Sebastián Zapata  
Alexander Valencia



## Proyecto

**Modelos Complejos - Flocking**  
**Movimiento Colectivo**

# Contenido

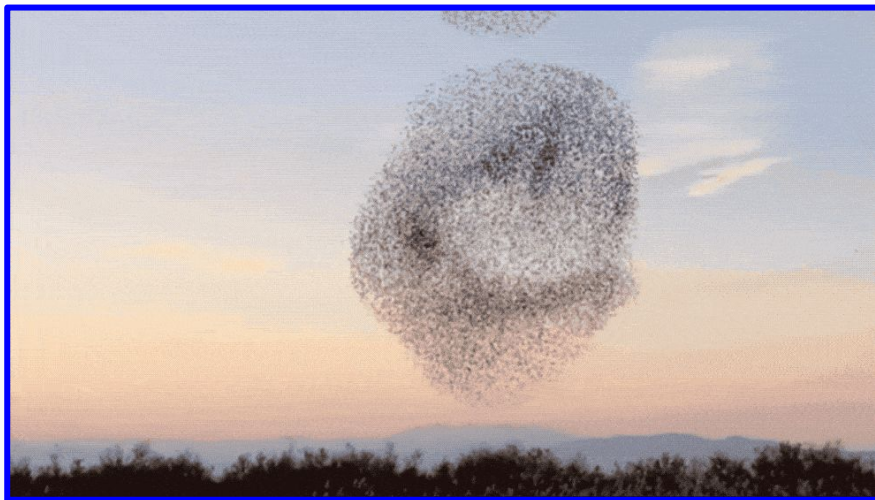
1. Introducción.
2. Modelo.
3. Implementación.
4. Resultados.
5. Ejemplos.
6. Aplicaciones.

## MODELOS COMPLEJOS MOVIMIENTO COLECTIVO



# INTRODUCCIÓN

**Boids** → ("*bird-oid object*"), 1987 - Craig Reynolds



Simulación de agentes sencillos (**BOIDS**) que se mueven siguiendo un conjunto de reglas básicas.

**RESULTADO:** descripción que se aplica a una estrategia de comportamiento grupal.

→ Representa una **ventaja evolutiva**, desarrollada por muchas especies...

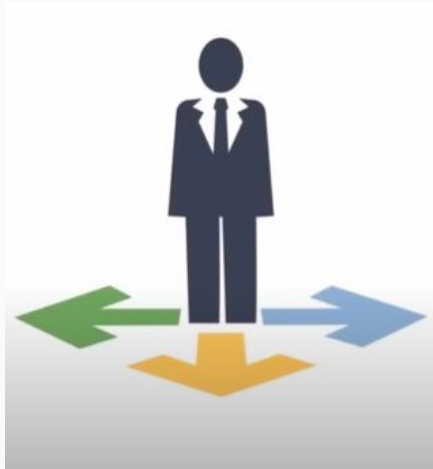
# DEFINICIÓN

¿Qué es "flocking"? → *Comportamiento de bandada.*

Comportamiento que exhibe una especie a un movimiento colectivo de un gran número de entidades (**AGENTES**).

Los modelos complejos que describen este comportamiento, se han usado para comprender — y controlar — el movimiento de densas multitudes humanas.

# Modelo



## REGLAS | AGENTES Y SISTEMA

Se utilizan dos dimensiones en el cuadrado unidad (**PERIÓDICO**) :

$$x, y \in [0, 1]$$

En un modelo de flocking básico, cada agente es autónomo para decidir respecto al entorno.

La **IDEA** es controlar :

1. **SEPARACIÓN.**
2. **ALINEACIÓN.**
3. **COHESIÓN.**

# Fuerzas que actúan en el modelo:

- Repulsión.
- Flocking.
- Autopropulsión.
- Perturbación (Random).

# Repulsión:

$$\mathbf{F}_j^{\text{rep}} = \varepsilon \sum_{k=1}^N \begin{cases} (1 - r_{jk}/(2r_0))^{3/2} \hat{\mathbf{r}}_{jk}, & r_{jk} \leq 2r_0, \ j \neq k, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

- Fuerza que evita la aglomeración de los individuos, limitando su distancia dentro de un radio de interacción de corto alcance  $\mathbf{r}_0$

# Flocking:

$$\mathbf{F}_j^{\text{flock}} = \frac{\alpha \bar{\mathbf{V}}}{\sqrt{\bar{\mathbf{V}} \cdot \bar{\mathbf{V}}}}, \quad \bar{\mathbf{V}} = \sum_{k=1}^N \begin{cases} \mathbf{v}_k, & r_{jk} \leq r_f, \quad j \neq k \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

- Fuerza que dirige a un agente con la velocidad promedio, dicha velocidad corresponde a la velocidad que tiene el resto de los individuos comprendidos en un radio de flocking  $r_f$



# Auto-propulsión:

$$\mathbf{F}_j^{\text{prop}} = \mu(v_0 - v_j)\hat{\mathbf{v}}_j,$$

$$v_j = \sqrt{v_{x,j}^2 + v_{y,j}^2},$$

$$\hat{\mathbf{v}}_{x,j} \equiv \frac{v_{x,j}}{v_j}\hat{\mathbf{x}}, \quad \hat{\mathbf{v}}_{y,j} \equiv \frac{v_{y,j}}{v_j}\hat{\mathbf{y}}.$$

- Fuerza que representa el intento deliberado de cada individuo, para moverse a una velocidad finita deseada.

-Si  $\mathbf{v}_0 = \mathbf{0} \rightarrow$  tendencia a desacelerar el agente.

(dependiendo del contexto, un individuo disminuye su velocidad hasta detenerse, a menos que sea “empujado” activamente)

# Perturbación (Random):

$$\mathbf{F}_j^{\text{rand}} = \boldsymbol{\eta}_j$$

Los agentes pueden someterse a perturbaciones de cualquier origen.

- Esto se modela con una fuerza orientada aleatoriamente.
- Cada componente  $\boldsymbol{\eta}_j$  se extrae de una distribución uniforme de desviaciones aleatorias en el rango  $[-\eta, \eta]$ .

# Fuerza total:

$$\mathbf{F}_j = \mathbf{F}_j^{\text{rep}} + \mathbf{F}_j^{\text{flock}} + \mathbf{F}_j^{\text{prop}} + \mathbf{F}_j^{\text{rand}} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{a}_j = \frac{\mathbf{F}_j}{M}$$

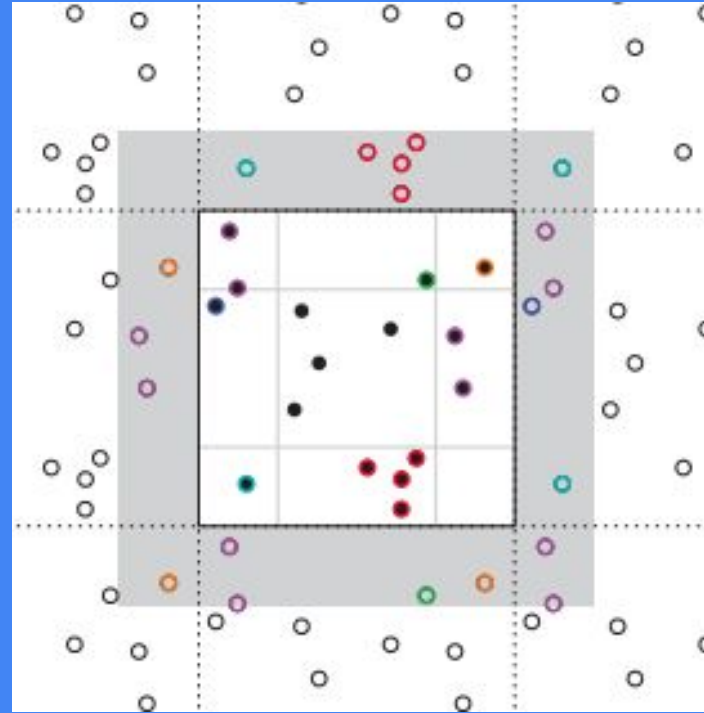
En cuanto a efectos de la simulación se supone  $M = 1$  para cada agente  $j$ , los cuales se mueven y ajustan sus velocidades durante cada paso de tiempo según:

$$\begin{aligned}\mathbf{x}_j(t + \Delta t) &= \mathbf{x}_j(t) + \mathbf{v}_j(t) \Delta t \\ \mathbf{v}_j(t + \Delta t) &= \mathbf{v}_j(t) + \frac{\mathbf{F}_j(t)}{M} \Delta t\end{aligned}$$

$$\mathbf{x}_j(t + \Delta t) = \mathbf{x}_j(t) + \mathbf{v}_j(t) \Delta t + \frac{1}{2} \frac{\mathbf{F}_j(t)}{M} (\Delta t)^2$$

Resultan del método de primer orden de diferencias finitas. Sin el tercer término se evita la imprecisión en las velocidades evaluadas  $\rightarrow \mathbf{F}$  depende de  $\mathbf{x}$  y de  $\mathbf{v}$ .

- Buffer (zona gris)
- Agentes reales (dentro del cuadro blanco)



# RESULTADOS | SIMULACIÓN

***Muestra 1: Movimiento de Bandada.***

***Muestra 2: Simulación de Pánico en una Multitud.***

# Ejemplo 1:

**Comportamiento Bandada:** El primer modelo tratado representa un movimiento de manada, en el cual todos los agentes comienzan a conglomerarse, moviéndose así bajo una fuerza de Flocking.

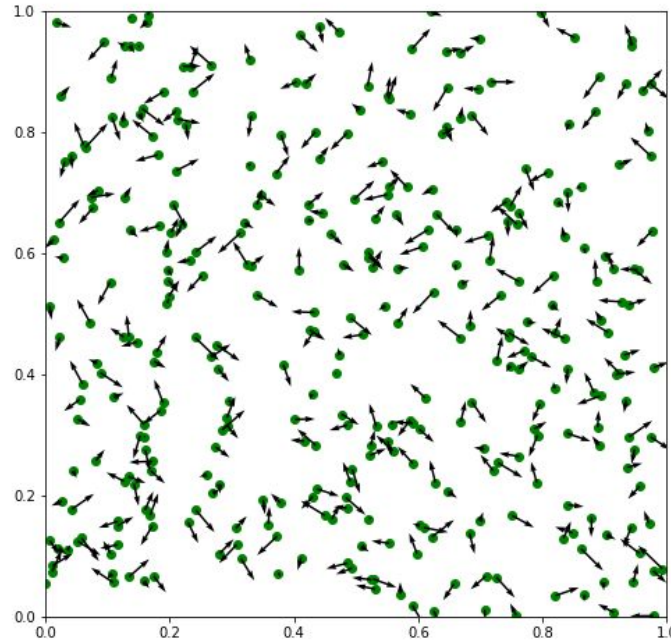
Los parámetros usados para el primer modelo fueron:

- Amplitud de repulsión ( $\epsilon$ ) = 0
- Radio de flocking ( $r_f$ ) = 0.1
- Amplitud de flocking ( $\alpha$ ) = 1
- Velocidad del blanco ( $v_0$ ) = 0
- Amplitud de autopropulsión ( $\mu$ ) = 10
- Amplitud de fuerzas aleatorias ( $\eta$ ) = 0.1
- Número de agentes ( $N$ ) = 342

# Implementación

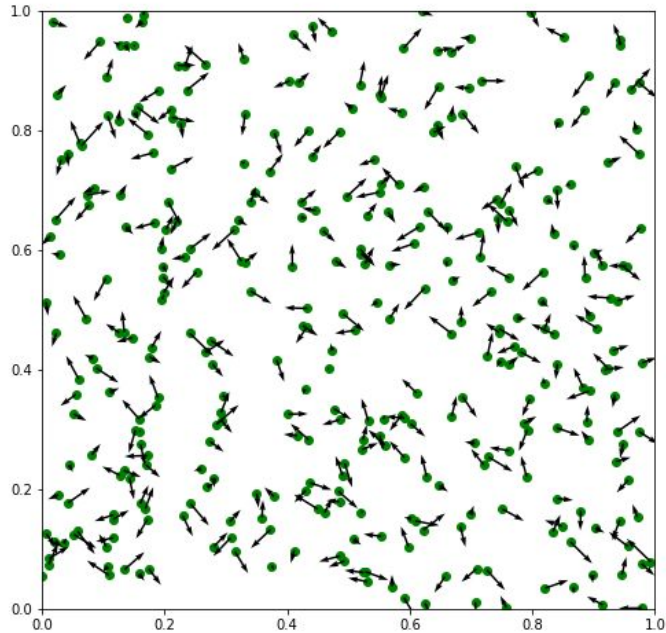
**<https://github.com/STabaresG/ProyectoFinalFCII/blob/main/flocking.cpp>**

# Sistema evolucionando en el tiempo bajo la influencia de la fuerza de flocking

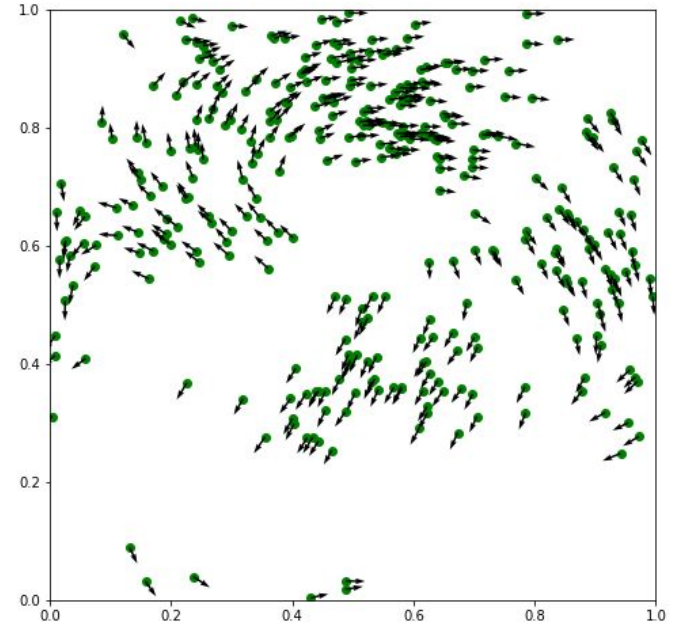




Posiciones de los agentes en el  
primer instante de tiempo  
generadas aleatoriamente



Posiciones de los agentes en el  
último instante de tiempo  
moviéndose bajo la influencia de  
la fuerza de Flocking



## Ejemplo 2:

**Comportamiento con pánico:** El primer modelo tratado representa un movimiento de manada, en el cual todos los agentes comienzan a conglomerarse, moviéndose así bajo una fuerza de Flocking.

Los parámetros usados para el primer modelo fueron:

- Radio de repulsión ( $r_0$ ) = 0.025
- Amplitud de repulsión ( $\epsilon$ ) = 25
- Radio de flocking ( $r_f$ ) = 0.1
- Amplitud de flocking ( $\alpha$ ) = 0.1 (pánico) / 1 (calmados)
- Velocidad del blanco ( $v_0$ ) = 0.05 (pánico) / 0.02 (calmados)
- Amplitud de autopropulsión ( $\mu$ ) = 10
- Amplitud de fuerzas aleatorias ( $\eta$ ) = 10 (pánico) / 0.1 (calmados)
- Número de agentes ( $N$ ) = 500

# Comportamiento con pánico

**[https://github.com/STabaresG/ProyectoFinalFCII/blob/main/flocking\\_panic.cpp](https://github.com/STabaresG/ProyectoFinalFCII/blob/main/flocking_panic.cpp)**

# APLICACIONES

Cine

Tecnología

Ciencia



- Generación gráfica de multitudes que se mueven de manera más realista.
- Controlar el comportamiento de vehículos aéreos no tripulados, programar automáticamente emisoras de radio y protectores de pantallas.
- **QUÍMICA:** modificar las moléculas disueltas en un fluido → facilitar la decantación y posterior filtrado del agua (**purificar**).

¡Gracias!