

<b>Títol</b>	<b>Caracterització i modelització del moviment col·lectiu rotacional en bancs de peixos</b>
<b>Title</b>	<b>Investigating and modelling collective rotational motion in fish schools</b>

<b>Director</b>	<b>Romualdo Pastor Satorras i María del Carmen Miguel López</b>
<b>Departament</b>	<b>Departament de Física Departament de Física de la Matèria Condensada</b>
<b>Universitat</b>	<b>Universitat Politècnica de Catalunya Universitat de Barcelona</b>
<b>Tutor<sup>1</sup></b>	

<b>Curs</b>	<b>2023-24</b>
-------------	----------------

## Summary<sup>2</sup>

To comprehend the underlying rules governing the behavior of active systems, physicists propose and study various models describing active agents and their interactions. Two levels of description of active systems can be considered: microscopic models, which elucidate the evolution of individual agents over time, and macroscopic models, which depict entire systems with continuous fields, such as density, velocity, or orientation at any given point in space. In this thesis, we direct our focus toward the behavior of fish schools. Initially, we will examine whether simplified active matter models, typically depicting run and tumble active particles confined by specific experimental geometries, are suitable for describing experimental fish schools. Subsequently, we will investigate whether incorporating additional microscopic features, such as self-alignment rules or more complex rotational dynamics, can lead to collective motion characterized by the emergence of spontaneous polarization in fish schools. As originally conceived in the Vicsek model, flocking or schooling can emerge through alignment interactions among the active agents, akin to spins aligning in the XY model. However, recent research indicates that flocking can also occur without explicit alignment interactions. Instead of aligning with neighbors, agents may experience a range of alternative interactions, such as aligning with their own velocity or force or pursuing others within their field of vision. We will, for instance, examine the microscopic dynamics of experimental fish schools to determine whether they exhibit a tendency to turn away from each other. This simple mechanism could potentially lead to the collective emergence of spontaneous schooling in fish locomotion.

**Keywords<sup>3</sup>** Active matter, collective motion, fish schools, stochastic processes

## Breu descripció del projecte<sup>4</sup>

Per comprendre les regles subjacents que regeixen el comportament dels sistemes actius, els físics proposen i estudien diversos models que descriuen agents actius i les seves interaccions. Es poden considerar dos nivells de descripció dels sistemes actius: models microscòpics, que eluciden l'evolució dels agents individuals en el temps, i models macroscòpics, que representen sistemes sencers amb camps continus, com ara densitat, velocitat o orientació en qualsevol punt a l'espai.

En aquesta tesi, dirigim la nostra atenció cap al comportament de bancs de peixos. Inicialment, examinarem si els models simplificats de matèria activa, que típicament representen partícules actives confinades per geometries experimentals específiques, són adequats per descriure la dinàmica experimental observada en grups de peixos. Posteriorment, investigarem si la incorporació de característiques microscòpiques addicionals, com ara regles d'auto-alineament o dinàmiques de rotació més complexes, poden conduir a un moviment col·lectiu caracteritzat per l'emergència de polarització espontània a bancs de peixos. Com es va concebre originalment al model de Vicsek, l'agrupament o la formació de bancs pot sorgir a través d'interaccions d'alineació entre els agents actius, semblant als espins que s'alineen en el model XY. Tot i això, investigacions recents indiquen que l'agrupament també pot desencadenar-se sense interaccions explícites d'alineació. En lloc d'alinear-se amb els veïns, els agents poden experimentar una varietat d'interaccions alternatives, com ara alinear-se amb la seva velocitat o força o perseguir-ne d'altres dins del seu camp de visió. Examinarem, per exemple, la dinàmica microscòpica dels bancs de peixos experimentals per determinar si mostren una tendència a rotar per allunyar-se del grup. Aquest mecanisme simple podria conduir potencialment a l'emergència col·lectiva de l'agrupament espontani en la locomoció dels peixos.

1. Y. Katz, K. Tunstrøm, C. C. Ioannou, C. Huepe, and I. D. Couzin, "Inferring the structure and dynamics of interactions in schooling fish," *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 18720–18725 (2011).
2. J. Jhawar, R.G. Morris, U. R. Amith-Kumar, M. Danny Raj, T. Rogers, H. Rajendran, and V. Guttal, "Noise-induced schooling of fish," *Nat. Phys.* 16, 488–493 (2020).
3. S. Das, M. Ciarchi, Z. Zhou, J. Yan, J. Zhang, and R. Alert, cond-mat arXiv:2401.17153v1.

<sup>1</sup>Si el director no és un professor de la UB o e la UPC, caldrà assignar un tutor del TFM que designarà la Comissió Coordinadora del Màster.

<sup>2</sup>Aquest “summary” és el que apareixerà a la futura pàgina web dedicada al TFM. Procureu que sigui concís i entenedor (máx. 10 línies).

<sup>3</sup>Aquestes “keywords” no només són les que apareixeran al web sinó que ajudaran la Comissió Coordinadora del Màster a **assignar el projecte a un àrea concreta**.

<sup>4</sup>Procureu ser concisos però proporcioneu prou informació per tal que l'estudiant i la Comissió Coordinadora del Màster es facin una idea prou acurada de en què consistirà el treball. **Indiqueu 3-6 publicacions de referència en la descripció del projecte per donar una idea dels fonament, metodologia, objectius, etc.**

**Competències addicionals<sup>5</sup> (opcional)**

Tasques a desenvolupar <sup>6</sup>		Cronograma (setmanes)																	
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18
T01	Bibliografia (aprox. 50 h)	X	X	X	X					X	X	X	X						
T02	Càlculs preliminars (aprox. 75h)			X	X	X	X												
T03	Càlculs etapa/procés 1 (aprox. 110h)							X	X	X	X	X							
T04	Càlcul etapa/procés 2 (aprox. 115h)										X	X	X	X	X				
T05	Redacció de la memòria i preparar l'exposició (aprox. 100h)														X	X	X	X	X
T06																			
T07																			
T08																			
T09																			
T10																			

**Observacions i comentaris**

Per a la realització del treball pròpiament dit es preveu una dedicació d'unes quatre hores diàries durant cinc dies a la setmana, amb la opció de modificació de l'horari per poder adaptar-se millor a l'horari acadèmic de l'estudiant.

Signatura (el director del TFM)

Signatura (el tutor del TFM, si s'escau)

<sup>4</sup> Enumereu breument qualsevol competència addicional a les competències genèriques enumerades en el Pla Docent del TFM (opcional).

<sup>5</sup> Feu servir només les línies que calgui. Escolliu-les de manera que donin una idea aproximada de en què consistirà el treball i la seva distribució temporal.