

Libro de resúmenes  
*Book of Abstracts*

I Congreso del Grupo  
de Sistemas  
Complejos 2025

*I Workshop of the  
Grupo de Sistemas  
Complejos 2025*

**GSCW'25**

6 de mayo de 2025 @ ETSIAAB

*May 6, 2025 @ ETSIAAB*

Libro de resúmenes del I Congreso del GRUPO DE SISTEMAS  
COMPLEJOS 2025 (GSCW'25)  
I Congreso del GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS 2025 (GSCW'25)  
29 de abril de 2025, Madrid

Editores:

Rosa M. Benito

Juan Carlos Losada

Fabio Revuelta

© 2025, GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS

Primera edición: mayo, 2025

ISBN: 978-84-09-73122-0

Publicado por:

GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS

Avenida Puerta de Hierro, 2-4

28040 Madrid, España

Diseño de portada: Fabio Revuelta Peña

Impreso en: España

Todos los derechos reservados.

Los resúmenes incluidos en esta publicación son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma ni por ningún medio, sin el permiso previo por escrito de los editores.

*Book of Abstracts of the I Workshop of the GRUPO DE SISTEMAS  
COMPLEJOS 2025 (GSCW'25)*  
*I Workshop of the GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS 2025 (GSCW'25)*  
*April 29, 2025, Madrid*

*Editors:*

*Rosa M. Benito*

*Juan Carlos Losada*

*Fabio Revuelta*

© 2025, GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS

*First edition: May, 2025*

*ISBN: 978-84-09-73122-0*

*Published by:*

*Grupo de Sistemas Complejos*

*Avenida Puerta de Hierro, 2-4*

*28040 Madrid, Spain*

*Cover design: Fabio Revuelta Peña*

*Printed in: Spain*

*All rights reserved.*

*The abstracts included in this publication are the sole responsibility of their respective authors. No part of this publication may be reproduced, stored, or transmitted in any form or by any means, without prior written permission from the editors.*

## Palabras de bienvenida

Queridos amigos, queridas amigas:

Bienvenidos al I Congreso del GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS (GSCW'25), celebrado el 6 de mayo de 2025 en la ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS (ETSIAAB) de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.

A lo largo de los años, nuestro grupo ha crecido a través de una serie de encuentros informales, charlas de seminario y discusiones colaborativas. Estos intercambios han fomentado una comunidad muy productiva e interdisciplinar de investigadores interesados en el estudio de los sistemas complejos. Este año, creemos que era el momento de dar un paso adelante y organizar un evento más formal para consolidar nuestros esfuerzos, compartir nuestras investigaciones más recientes y fortalecer nuestra red académica.

Este congreso reúne contribuciones de una amplia gama de disciplinas, incluyendo matemáticas, física, ingeniería, ciencias ambientales y biología. Los temas presentados reflejan la diversidad y riqueza de la ciencia de la complejidad, abarcando áreas como:

- Dinámica no lineal y caos
- Redes complejas y difusión de la información
- Sistemas cuánticos y semiclásicos
- Fenómenos ópticos y electromagnéticos
- Modelado ecológico y teledetección
- Dinámica de opiniones y polarización
- Sistemas biológicos y microbiota
- Sistemas financieros y comportamiento del mercado
- Modelado cognitivo y procesos de aprendizaje

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS AGRARIOS Y MEDIOAMBIENTALES (CEIGRAM) por su apoyo financiero, y a la dirección de la ETSIAAB por su respaldo y colaboración en la organización de este evento. También estamos profundamente agradecidos a todos los ponentes que han contribuido generosamente con su tiempo y experiencia.

Esperamos que este taller sea intelectualmente estimulante y una valiosa oportunidad para la colaboración y el intercambio.

Con afecto,  
Rosa María Benito,



en nombre del Comité Organizador.

## **Wellcome**

*Dear friends,*

*Welcome to the I Workshop of the GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS (GSCW'25), held on May 6, 2025, at the ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS (ETSIAAB) of the UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.*

*Over the years, our group has grown through a series of informal meetings, seminar talks, and collaborative discussions. These exchanges have fostered a vibrant and interdisciplinary community of researchers interested in the study of complex systems. This year, we felt it was time to take a step forward and organize a more formal event to consolidate our efforts, share our latest research, and strengthen our academic network.*

*This workshop brings together contributions from a wide range of disciplines, including mathematics, physics, engineering, environmental sciences, and biology. The topics presented reflect the diversity and richness of complexity science, covering areas such as:*

- *Nonlinear dynamics and chaos*
- *Complex networks and information diffusion*
- *Quantum and semiclassical systems*
- *Optical and electromagnetic phenomena*
- *Ecological modeling and remote sensing*
- *Opinion dynamics and polarization*
- *Biological systems and microbiota*
- *Financial systems and market behavior*
- *Cognitive modeling and learning processes*

*We would like to express our sincere gratitude to the CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS AGRARIOS Y MEDIOAMBIENTALES (CEI-GRAM) for its financial support, and to the direction of the ETSIAAB for their support and assistance in organizing this event. We are also deeply thankful to all the speakers who have generously contributed their time and expertise.*

*We hope you find this workshop intellectually stimulating and a valuable opportunity for collaboration and exchange.*

*Warm regards,*

*Rosa María Benito,*



*on behalf of the Organizing Committee.*

## Índice / *Table of Contents*

<b>1</b>	<b>Patrocinadores / <i>Sponsors</i></b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Comité organizador / <i>Organizing Committee</i></b>	<b>8</b>
<b>3</b>	<b>Lista de ponentes invitados / <i>List of invited speakers</i></b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Lista de participantes / <i>List of participants</i></b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Lista de ponencias invitadas / <i>List of invited talks</i></b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>Horario / <i>Schedule</i></b>	<b>13</b>
<b>7</b>	<b>Resúmenes / <i>Abstracts</i></b>	<b>14</b>

## 1. Patrocinadores / *Sponsors*

**ceiogram**

Research Centre for the Management of Agricultural  
and Environmental Risks

GRUPO DE SISTEMAS COMPLEJOS



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



**ETSIAAB**



**POLITÉCNICA**

## 2. **Comité organizador / *Organizing Committee***

Rosa M. **Benito**, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).

Juan Carlos **Losada**, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).

Fabio **Revuelta**, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).

### 3. Lista de ponentes invitados / *List of invited speakers*

1. Ramón **Alonso Sanz**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
2. F. J. **Arranz**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
3. Rosa M. **Benito**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
4. Javier **Borondo**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
5. Javier **Galeano**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
6. Marcos **García Barriopedro**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
7. Juan Carlos **Losada**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
8. Nilo **Mata-Cervera**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA DE MINAS Y ENERGÍA, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID España (*Spain*), y SCHOOL OF PHYSICAL AND MATHEMATICAL SCIENCES, NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY, Singapur (*Singapore*).
9. Juan Manuel **Pastor**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).

10. Fabio **Reuelta**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, España (*Spain*).
  
11. Ana M. **Tarquis**, ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA, ALIMENTARIA Y DE BIOSISTEMAS de la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID y CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIÓN PARA LA GESTIÓN DE RIESGOS AGRARIOS Y MEDIOAMBIENTALES - CEIGRAM, España (*Spain*).

#### **4. Lista de participantes / *List of participants***

1. Ramón **Alonso Sanz**
2. Andrés **Almeida**
3. F. J. **Arranz**
4. Rosa M. **Benito**
5. Javier **Borondo**
6. Javier **Colubi Domingo**
7. Javier **Galeano**
8. Marcos **García Barriopedro**
9. María del Mar **Grande Toledano**
10. Manuel **Holguín Paldo**
11. Faten **Ksantini**
12. Juan Carlos **Losada**
13. Nilo **Mata-Cervera**
14. Miguel Ángel **Muñoz**
15. Juan Manuel **Pastor**
16. Miguel Ángel **Porras**
17. Fabio **Revuelta**
18. Ernesto **Sanz**
19. Ana M. **Tarquis**
20. Ismael **Torres García**

## 5. Lista de ponencias invitadas / *List of invited talks*

1. Ramón Alonso Sanz, and Juan Carlos **Losada**  
*Decisión secuencial en el juego de Hotelling*
2. F. J. Arranz, J. **Montes**, and F. **Borondo**  
*Semiclassical quantization of periodic orbits at the edge of the transition from order to chaos*
3. Rosa M. Benito, Samuel **Martin-Gutierrez**, Julia **Atienza-Barthelem**, Javier **Borondo**, and Juan Carlos **Losada**  
*Métricas de Polarización e Inferencia de Opiniones en Sistemas Multipolares*
4. Javier Borondo  
*Sistemas complejos y mercados financieros*
5. Javier Galeano, Rosa **del Campo**, Jordi **Soriano**, and Jesús **Gomez-Gardeñes**  
*Microbiota y TEA: el huevo o la gallina*
6. Marcos **García Barriopedro**, Manuel **Holguín**, and Miguel A. **Porrás**  
*Nonparaxial exploding cylindrical vector beams*
7. Juan Carlos Losada, Javier **Borondo**, Samuel **Martin-Gutierrez**, Julia **Atienza-Barthelem**, and Rosa M. **Benito**  
*No me chilles que no te veo (sobre la difusión de información en redes sociales)*
8. Juan Manuel Pastor, Carmen **Ramírez Castillejo**, and Marta **Sánchez-Díez**  
*Nuevos índices de viabilidad celular basados en la tasa de crecimiento*
9. Miguel A. **Porrás**, and Nilo Mata-Cervera  
*Universal skyrmion cloaking the vortex darkness*
10. Fabio Revuelta  
*Estilos de aprendizaje o cómo perder un año de vida ☺*
11. Ana M. Tarquis, Andrés F. **Almeida-Ñauñay**, Ernesto **Sanz**, Juan C. **Losada**,  
Javier **Borondo**  
*Windowed recurrence plots and Lacunarity ratio to quantify dynamics*

## 6. Horario / Schedule

<b>Hora / Time</b>	<b>Ponente / Speaker</b>
9:30-9:50	<b>Rosa María Benito</b> Métricas de Polarización e Inferencia de Opiniones en Sistemas Multipolares
9:50-10:10	<b>Miguel Ángel Porras</b> Universal skyrmion cloaking the vortex darkness
10:10-10:30	<b>Javier Galeano</b> Microbiota y TEA: el huevo o la gallina
10:30-10:50	<b>Fabio Revuelta</b> Estilos de aprendizaje o cómo perder un año de vida :(
10:50-11:10	<b>Francisco Javier Arranz</b> Semiclassical quantization of periodic orbits at the edge of the transition from order to chaos
11:10-12:00	<b>Pausa café / Coffee break</b>
12:00-12:20	<b>Juan Carlos Losada</b> No me chilles que no te veo (sobre la difusión de información en redes sociales)
12:20-12:40	<b>Marcos García Barriopedro</b> Nonparaxial exploding cylindrical vector beams
12:40-13:00	<b>Juan Manuel Pastor</b> Nuevos índices de viabilidad celular basados en la tasa de crecimiento
13:00-13:20	<b>Javier Borondo</b> Sistemas complejos y mercados financieros
13:20-13:40	<b>Ramón Alonso Sanz</b> Decisión secuencial en el juego de Hotelling
13:40-14:00	<b>Ana M. Tarquis</b> Windowed recurrence plots and Lacunarity ratio to quantify dynamics
14:00-15:00	<b>Comida / Lunch</b>



# Decisión secuencial en el juego de Hotelling

Ramón Alonso-Sanz<sup>1,\*</sup> and Juan Carlos Losada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Sistemas Complejos, UPM

El juego de Hotelling modeliza un problema de la elección de localización y precio por parte de dos jugadores (empresas), como se esquematiza en la Fig. 1.

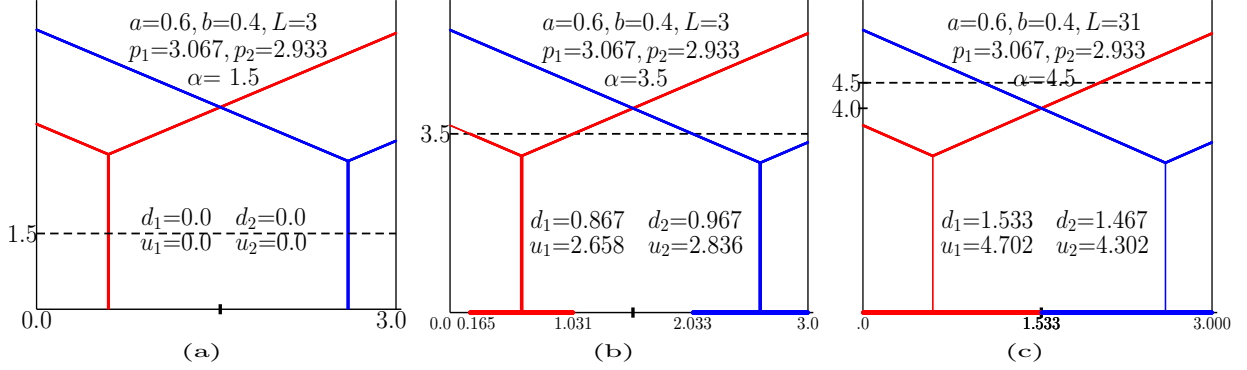


FIG. 1. A HOT game with reservation cost. (a)  $\alpha = 1.5$ . (b)  $\alpha = 3.5$ . (c)  $\alpha = 4.5$ .

Con carácter general, en teoría de juegos caben dos aproximaciones al problema de decisión: i) los jugadores deciden simultáneamente (juegos en forma normal o matricial), ii) los jugadores eligen de forma secuencial (juegos secuenciales, dinámicos, en forma extensa, Stackelberg).

En esta contribución nos centramos en la aproximación secuencial en el juego de Hotelling bipersonal: uno de los jugadores (líder) elige primero, el otro jugador (seguidor) elige conociendo la elección del líder.

La elección del seguidor no plantea ningún problema específico: adopta la decisión que maximiza su beneficio. Sin embargo, la decisión del líder es más problemática porque no sabe lo que hará el seguidor. Siguiendo el mecanismo canónico en teoría de la decisión, asumiremos que el líder sigue el principio de inducción inversa (backwards induction).

El principio de inducción inversa aplicado al problema de elección de precios en el juego de Hotelling se esquematiza en la Fig. 2, donde 1 es el líder y 2 es el seguidor.

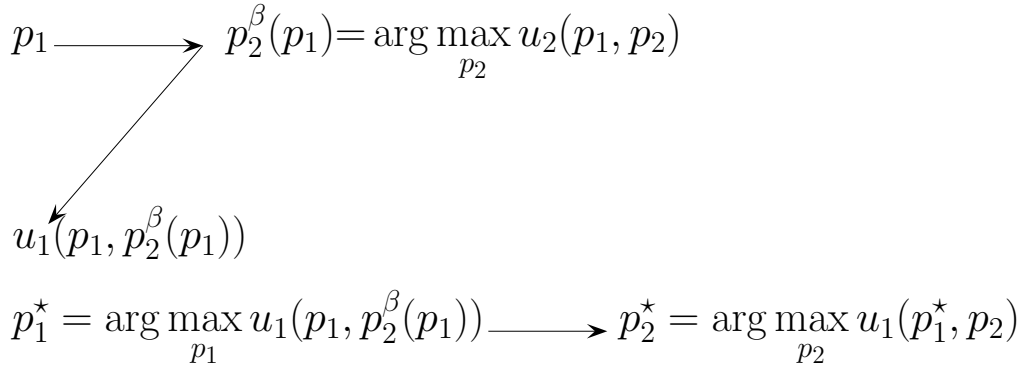


FIG. 2. Inducción inversa (backwards induction) en el juego de Hotelling en precios.

A pesar de su aparente sencillez, el juego de Hotelling presenta una insospechada problemática en su tratamiento analítico. Es así que es conveniente proceder a su simulación numérica aún en los supuestos en los que se crea haber obtenido una solución analítica. En los modelos del juego más sofisticados, la simulación numérica es obligada. En nuestros trabajos más recientes, implementamos simulación numérica sin a priori (fuerza bruta). Tomando como ejemplo el esquema de la Fig. 2, se rastrearían todos los posibles valores de  $p_1$  y  $p_2$ . En problema se complica notablemente si se hacen intervenir las localizaciones como variables de decisión.

[1] Garcia-Perez,L.,Grau-Climent,J.,Losada,J.C.,Alonso-Sanz,R.(2025). The sequential Hotelling game with one parametrized location. *Submitted*.

[2] Garcia-Perez,L.,Grau-Climent,J.,Losada,J.C.,Alonso-Sanz,R.(2024). Simulation of the Stackelberg-Hotelling game. *Games*,15(5),34.

# Semiclassical quantization of periodic orbits at the edge of the transition from order to chaos

F. J. Arranz,<sup>1,\*</sup> J. Montes,<sup>2</sup> and F. Borondo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain*

<sup>2</sup>*Departamento de Estadística, Universidad Carlos III de Madrid, 28903 Getafe, Spain*

<sup>3</sup>*Departamento de Química, Universidad Autónoma de Madrid, Cantoblanco, 28049 Madrid, Spain*

A cornerstones in the development of quantum chaos is level statistics, i.e., the statistics of the spacing between adjacent energy levels in the spectrum of a Hamiltonian operator, which is mathematically based on the random matrix theory. In this framework, two extreme cases can be considered: (i) integrable systems where, as was shown by Berry and Tabor [1], the statistics of the energy spacing follows a exponential distribution derived from a Poisson distribution of the eigenenergies, and (ii) classically fully chaotic systems (K-systems) where, as was conjectured by Bohigas, Giannoni, and Schmit [2] and proved in a semiclassical context by Müller et al. [3], the statistics of the energy spacing follows the distribution of the Gaussian orthogonal ensemble (GOE) of the random matrix theory. In the first case, since the distribution of levels corresponds to a Poisson process, there are no interaction between energy levels, such that small spacing is highly likely. While, in the second case, the GOE distribution implies certain *level repulsion*, such that small spacing is highly unlikely.

However, in most cases, physical systems are not fully chaotic (K-systems), but systems with mixed dynamics, i.e., systems where chaotic regions and islands of regularity coexist in classical phase space. This case is an intermediate one where it can typically be found an order region, with a Poisson-like statistics, and a mixed chaos region, with an in-between Poisson-GOE statistics that can be described by means of a Weibull distribution, as was proposed by Brody [4] (therefore known as the Brody distribution in this context), which smoothly interpolates between both extreme cases. In the mixed chaos region, there are states with very little or no interaction, which are related to classical islands of stability, and also states with level repulsion, which are related to classical chaotic regions. Molecular systems, in particular, mostly belong to this intermediate case.

Moreover, notice that by taking the Planck constant as a varying parameter, thus obtaining a correlation diagram of eigenenergies versus Planck constant, it can be used as an ideal tool to implement a kind of microscope that focuses with varying resolution on the classical regular structures existing in the phase space of systems with mixed chaos. In this way, it has been shown in the literature [5] for different molecular systems, including HCN, LiCN, KCN, and HO<sub>2</sub>, the existence of a singular series of broad avoided crossings (ACs) in the correlation diagram of eigenenergies versus Planck constant, which constitutes the frontier that separates the order and mixed chaos regions. Namely, below this series of ACs (the order region), no level repulsion is found, while above the series of ACs (the mixed chaos region), extensive level repulsion is found, as well as some states with very little interaction related to classical islands of stability. Then, based on the level statistics results, this series of ACs can be considered the frontier between order and chaos. Interestingly, the eigenstates involved in this frontier are scarred states, i.e., states where the extremes (maxima and minima) of their wavefunctions are distributed along an *isolated unstable* periodic orbit (PO), phenomenon first studied by Heller [6] in the Bunimovich stadium billiard. Notice that, as energy increases, the eigenstates of the frontier are the first scarred states to appear, such that this case adds some insight into the scar formation in molecular systems.

In a previous work [7], we studied the correspondence between classical and quantum resonances in the order region of the correlation diagram of the LiCN molecular system, leading to a semiclassical theory for this correspondence. In the present work [8], we further study the frontier of scars quantitatively in the correlation diagram of the LiCN molecular system, addressing the semiclassical quantization [9] of the scarring POs involved in this frontier of scars, which will lead to obtaining a semiclassical frontier between order and chaos.

---

[1] M. V. Berry and M. Tabor, *Proc. R. Soc. Lond. A* **356**, 375 (1977).

[2] O. Bohigas, M. J. Giannoni, and C. Schmit, *Phys. Rev. Lett.* **52**, 1 (1984).

[3] S. Müller, S. Heusler, A. Altland, P. Braun, and F. Haake, *New J. Phys.* **11**, 103025 (2009).

[4] T. A. Brody, *Lett. Nuovo Cimento* **7**, 482 (1973).

[5] F. J. Arranz, F. Borondo, and R. M. Benito, *J. Chem. Phys.* **107**, 2395 (1997); *Phys. Rev. Lett.* **80**, 944 (1998); F. J. Arranz, L. Seidel, C. G. Giralda, R. M. Benito, and F. Borondo, *Phys. Rev. E* **82**, 026201 (2010); H. Párraga, F. J. Arranz, R. M. Benito, and F. Borondo, *Phys. Rev. E* **101**, 062215 (2020).

[6] E. J. Heller, *Phys. Rev. Lett.* **53**, 1515 (1984).

[7] F. J. Arranz, R. M. Benito, and F. Borondo, *Phys. Rev. E* **103**, 062207 (2021).

[8] F. J. Arranz, J. Montes, and F. Borondo, *Phys. Rev. E* **108**, 034210 (2023).

[9] M. C. Gutzwiller, *J. Math. Phys.* **12**, 343 (1971).

# Métricas de Polarización e Inferencia de Opiniones en Sistemas Multipolares

Rosa M. Benito,<sup>1,\*</sup> Samuel Martin-Gutierrez,<sup>1</sup> Julia Atienza-Barthelem,<sup>1</sup> Javier Borondo,<sup>1</sup> and Juan Carlos Losada<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Sistemas Complejos  
Universidad Politécnica de Madrid*

Basándonos en la idea de que una población está perfectamente polarizada cuando se divide en dos grupos de igual tamaño y con opiniones opuestas, proponemos una metodología general para estudiar y medir la aparición de polarización a partir de interacciones sociales. Presentamos métricas de polarización para distribuciones de opiniones. En particular, proponemos el índice de polarización [1] para sistemas bipolares. Esta métrica es muy restrictiva, ya que el valor máximo solo se alcanza cuando se cumplen estas dos condiciones: los grupos son de igual tamaño y con opiniones totalmente opuestas. Se ha aplicado para medir la polarización política en varias conversaciones dicotómicas en Twitter, encontrando una buena concordancia entre nuestros resultados y los datos offline. Hemos analizado una conversación sobre el Presidente Venezolano Hugo Chaves [1], la segunda vuelta de las elecciones chilenas de 2017 [2] y sobre el tema del Proceso (independencia de Cataluña) [3].

Para el caso de distribuciones de opiniones multipolares, proponemos la traza de la matriz de covarianza (la variación total) como una métrica global de polarización [4]. Esta métrica alcanza el valor máximo cuando solo hay opiniones extremas y están distribuidas uniformemente entre todos los polos. En consecuencia, de manera similar al índice de polarización, no solo mide cuán extremas son las opiniones, sino también cuán equitativamente está dividida la población en las facciones consideradas.

Para desvelar las principales fuerzas sociales o políticas que contribuyen a la polarización en los sistemas multipolares, realizamos un análisis de componentes principales que permite identificar las direcciones de máxima polarización. Hemos analizado varios casos de estudio correspondientes a campañas electorales políticas (tetrapolares y pentapolares), mostrando que este marco revela los ejes ideológicos naturales del sistema. También presentamos un método para inferir opiniones en contextos multidimensionales a través de redes de interacciones basado en una extensión del proceso de aprendizaje de DeGroot [1, 3]. Para ello, primero introducimos una generalización al espacio ideológico de sistemas multipolares [4] con  $n$  polos de opinión modelados colocando cada polo (por ejemplo, los partidos en una democracia multipartidista) en el vértice de un simplex regular de dimensión  $n-1$  (una generalización multidimensional de un triángulo equilátero, que correspondería a un sistema tripolar). De esta manera, cada polo está a la misma distancia de los demás, evitando la introducción de sesgos a priori. Al aplicar esta metodología a datos empíricos de Twitter de elecciones generales multipartidistas en España, encontramos que el eje principal de polarización es la división izquierda/derecha [4]. Sin embargo, nuestro hallazgo más relevante proviene de los ejes secundarios de polarización, ya que revelan tensiones no triviales específicas de cada sistema. Dichas tensiones pueden entenderse en términos del contexto sociopolítico subyacente.

- 
- [1] A. J. Morales, J. Borondo, J. C. Losada, and R. M. Benito. Measuring political polarization: Twitter shows the two sides of Venezuela, *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science* 25, 033114 (2015). <https://doi.org/10.1063/1.4913758>
- [2] G. Olivares, J.P. Cárdenas, J.C. Losada, and J. Borondo. Opinion polarization during a dichotomous electoral process. *Complexity*, 2019, 5854037 (2019). <https://doi.org/10.1155/2019/5854037>
- [3] J. Atienza-Barthelemy, S. Martin-Gutierrez, J.C. Losada, and R.M. Benito. Relationship between ideology and language in the Catalan Independence context. *Scientific Reports*, 9, 17148 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-53404-x>
- [4] S. Martin-Gutierrez, J.C. Losada and R.M. Benito. Multipolar social systems: Measuring polarization beyond dichotomous contexts. *Chaos Solitons and Fractals*, 169, 113244 (2023). <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.113244>

# Sistemas Complejos y Mercados Financieros

Javier Borondo<sup>1,2,3</sup> and Mar Grande<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Sistemas Complejos, Universidad Politécnica de Madrid*

<sup>2</sup>*AgrowingData, 04001, Almería, Spain*

<sup>3</sup>*Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI),  
Universidad Pontificia Comillas, 28015 Madrid, Spain*

El mundo digital moderno está adoptando cada vez más las finanzas descentralizadas (DeFi), que ofrecen servicios financieros seguros en blockchains públicas. Sin embargo, este mercado emergente aún carece de modelos de valoración ampliamente aceptados.

En este estudio, presentamos las bandas TVL/MCAP como un indicador de valoración de mercado, capaz de reflejar la confianza de los inversores y resistente a las fluctuaciones de precios. Mostramos cómo los cruces en estas bandas pueden advertir sobre futuras variaciones en los precios de los tokens DeFi.

Cuando el ratio supera la banda superior, esto indica un aumento en la confianza de los inversores, lo que impulsa una mayor entrada de capital y fomenta una tendencia alcista en los precios. Según nuestros resultados, cuando se produce este cruce, la variación esperada del precio para el mes siguiente es un 15% superior en comparación con situaciones sin cruce.

Por otro lado, si el ratio rompe la banda inferior, se anticipa una caída en el precio, con retornos logarítmicos más negativos. En consecuencia, concluimos que la confianza de los inversores es un factor clave en la evolución del mercado DeFi y que las bandas TVL/MCAP constituyen una herramienta eficaz para prever la tendencia de este mercado.

---

[1] M. Grande, J. Borondo, *Trust as a driver in the DeFi market: Leveraging TVL/MCAP bands as confidence indicators to anticipate price movements*, Finance Research Letters **75**, 106705 (2025).

# Microbiota y TEA: el huevo o la gallina

Javier Galeano,<sup>1,\*</sup> Rosa del Campo,<sup>2</sup> Jordi Soriano,<sup>3</sup> and Jesús Gomez-Gardeñes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Sistemas Complejos-UPM*

<sup>2</sup>*Hospital Ramón y Cajal*

<sup>3</sup>*Universidad de Barcelona*

<sup>4</sup>*Universidad de Zaragoza*

En los últimos años, el autismo ha pasado de ser una condición poco comprendida a estar en el centro de numerosas investigaciones científicas. Documentales como *The Reason I Jump* (2020), basado en el libro homónimo de Naoki Higashida, nos han acercado a la percepción del mundo de las personas con *Trastorno del Espectro Autista* (TEA). A pesar de este acercamiento todavía nos quedan muchas incógnitas que resolver.

El TEA es un conjunto de trastornos del neurodesarrollo caracterizados por alteraciones en la comunicación, el aprendizaje y comportamientos estereotipados. Aunque se ha identificado una base genética, sólo en el 16-17% de los casos se pueden encontrar variantes genéticas conocidas [1]. Además, incluso entre gemelos idénticos se observan diferencias notables en los síntomas [2], lo que refuerza la idea de la implicación de factores ambientales.

Uno de los sospechosos más recientes en esta ecuación es la microbiota intestinal. Diversos estudios han sugerido que el ecosistema microbiano del intestino podría contribuir en el desarrollo del TEA, además de explicar la alta variabilidad en su sintomatología [3](Stratti et al., 2017).

Los metaanálisis publicados sobre la composición de la microbiota intestinal coinciden en que en TEA existe una mayor abundancia de los géneros *Ruminococcus*, *Desulfovibrio*, *Enterobacterales* y *Clostridium*. Por el contrario, *Enterococcus*, *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*; todas ellas bacterias ácido-lácticas habitualmente utilizadas como probióticos, están significativamente infrarrepresentadas [4] (Yang et al., 2024).

En esta charla presentaré la propuesta que se ha presentado en la convocatoria Fundamento de la Fundación BBVA que pretende estudiar la relación entre la microbiota y el TEA. A partir de estas evidencias, planteamos la hipótesis de que, durante el neurodesarrollo, los metabolitos de la microbiota intestinal contribuyen a la patogenia del TEA al alterar el desarrollo normal de los circuitos neuronales mediante la producción de neurotoxinas bacterianas, en particular las generadas por especies del género *Clostridium*.

Para poder demostrar nuestra hipótesis de trabajo queremos desarrollar cultivos neuronales de células primarias, que nos permitan ver si en los metabolitos de las heces, o de bacterias aisladas de las heces de pacientes con TEA afectan a la conectividad de nuestros experimentos. Usando teoría de grafos (redes complejas) queremos modelar y cuantificar las interacciones entre neuronas en cultivos in vitro. Por último, usando el modelo BERT, entrenado con péptidos y neuropéptidos, querríamos encontrar un candidato neurobloqueador responsable de alguno de los efectos en los pacientes con TEA.

---

[1] Lord, C., Brugha, T.S., Charman, T. et al. (2020) *Autism spectrum disorder*. *Nat Rev Dis Primers* **6**, 5 (2020).

[2] Ronald A, Hoekstra RA. Autism spectrum disorders and autistic traits: a decade of new twin studies. *Am J Med Genet B Neuropsychiatr Genet*. Apr, **156B**,3, 255-74 (2011).

[3] Strati F, Cavalieri D, Albanese D, De Felice C, Donati C, Hayek J, Jousson O, Leoncini S, Renzi D, Calabrò A, De Filippo C. New evidences on the altered gut microbiota in autism spectrum disorders. *Microbiome*. **5**(1):24. (2017).

[4] Yang C, Xiao H, Zhu H, Du Y, Wang L. Revealing the gut microbiome mystery: A meta-analysis revealing differences between individuals with autism spectrum disorder and neurotypical children. *Biosci Trends.*, **18**(3):233-249, (2024).

# Nonparaxial exploding cylindrical vector beams

Marcos G. Barriopedro,<sup>1,\*</sup> Manuel Holguín,<sup>2</sup> and Miguel A. Porrás<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Instituto de Fusión Nuclear “Gillermo Velarde”, Universidad Politécnica de Madrid (ETSII)  
C. de José Gutiérrez Abascal 2, , 28006, Madrid, Spain*

<sup>2</sup>*Departamento de Energía y Combustibles, Escuela Técnica Superior de Minas y Energía (ETSIME)  
Universidad Politécnica de Madrid, Ríos Rosas 21, 28003, Madrid, Spain*

<sup>3</sup>*Complex Systems Group, Escuela Técnica Superior de Minas y Energía (ETSIME)  
Universidad Politécnica de Madrid, Ríos Rosas 21, 28003, Madrid, Spain*

Light offers multiple degrees of freedom, most notably, polarization and spatial structure, which can be modulated to generate complex beam profiles with tailored propagation and focusing characteristics. In this study, the focus is placed on a particular class of structured light: Exploding Vector Beams (EVBs), investigated under full vectorial and non-paraxial conditions.

The analysis explores exploding beams with radial and azimuthal polarization, examples of vector beams which inherently present polarization singularities at the beam axis, leading to central intensity nulls. Under the paraxial approximation, these configurations predict mathematical singularities at infinite aperture. However, the full vectorial treatment reveals that while these singularities are regularized in practice, the enhanced energy concentration toward the focus remains highly robust.

Unlike conventional beams, exploding beams exhibit a remarkable dependence on the lens aperture. Their field distribution is characterized by slowly decaying transverse tails, which continue to deliver energy toward the focal region even as the aperture increases. This results in a distinctive “exploding” behavior, where both peak intensity and spatial resolution continuously improve with increasing aperture, without any need for beam reshaping or adaptive optics. This is in stark contrast to typical Laguerre-Gaussian beams or finite flat-top light, whose focusing performance tends to saturate at high numerical apertures.

Notably, EVBs are capable of generating a dominant longitudinal electric field component at focus, which is highly desirable in applications like high-resolution microscopy, optical trapping, particle acceleration, and nonlinear light–matter interactions.

- 
- [1] Miguel A. Porrás, *Phys. Rev. A* **103**, 033506 (2021).  
[2] Nilo Mata-Cervera et al., *ACS Photonics* **11**,7, 2713–2721 (2024).

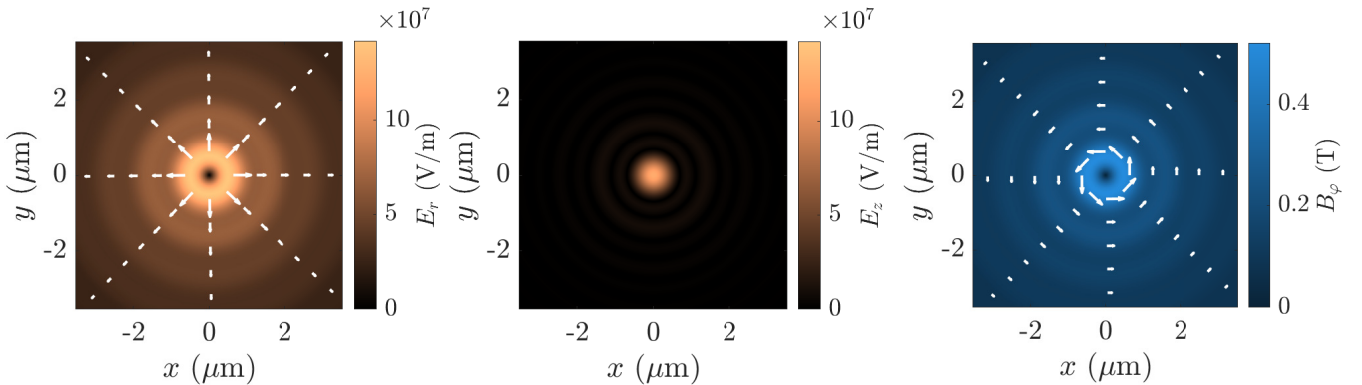


FIG. 1. *Nonparaxial exploding vector beam..* Data:  $\lambda = 735$  nm,  $\sigma = 2$  mm,  $\mu = 0.25$ ,  $P = 300$  W,  $NA = 0.7$ ,  $f = 100$  mm.

\* m.gbarriopedro@upm.es;

# No me chilles que no te veo (Sobre la difusión de información en redes sociales)

Juan Carlos Losada,<sup>1,\*</sup> Javier Borondo,<sup>1</sup> Samuel Martin-Gutierrez,<sup>1</sup> Julia Atienza-Barthelem,<sup>1</sup> and Rosa M. Benito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Sistemas Complejos  
Universidad Politécnica de Madrid

En una era en la que las redes sociales moldean profundamente la opinión pública, comprender cómo se difunde la información se vuelve esencial para analizar su impacto real. En este trabajo presentamos los avances más relevantes que hemos realizado para entender la complejidad de la propagación de información en Twitter.

El principal mecanismo de transmisión de información en Twitter es el reenvío de mensajes (retuits). Asumimos que la gran mayoría de los mensajes que leen los usuarios provienen de las cuentas que siguen.

Desde el punto de vista del creador de contenidos, hemos encontrado que los usuarios más eficientes (aquellos que obtienen una cantidad más alta de retuits por cada tuit original), no son los más activos, sino los que poseen una mayor cantidad de seguidores (ver fig. 1A) [1]. Este resultado muestra que la clave para lograr una amplia difusión no reside en la cantidad de tuits emitidos, sino en contar con una audiencia lo suficientemente grande que actúe de altavoz. Hemos identificado un patrón universal en la distribución de probabilidad de la eficiencia, no solo en Twitter, sino también en otras redes sociales. Para explicar este comportamiento hemos propuesto un modelo estadístico que en su versión más sofisticada depende del número de seguidores ( $k_{in}$ ), que reproduce este patrón [2].

Pero, ¿de qué depende que un seguidor retuitee un mensaje de alguien al que sigue?

Para responder a esta pregunta hemos analizado varias conversaciones de twitter centrándonos en el porcentaje de usuarios que retuitean (spreaders, S) respecto al total de usuarios a los que, potencialmente, les llega la información (observers, O) [3]. Esta proporción  $\Phi = \frac{S}{O}$  es una medida de la probabilidad de que se produzca un retuit. Hemos estudiado su relación con una propiedad clave del usuario: el número de cuentas a las que sigue (su  $k_{out}$ ). Encontramos una relación libre de escala  $\Phi = ck_{out}^\gamma$ , con  $\gamma < 0$  (ver fig. 1B). El exponente negativo de esta correlación indica que la probabilidad de retuitear disminuye drásticamente a medida que aumenta la cantidad de usuarios a los que sigue. Es decir, que cuanto más información recibe un usuario menos probable es que la reenvíe, evidenciando un efecto de saturación en el que la exposición a una sobrecarga de información reduce la interacción.

En resumen, demostramos que la cantidad de información recibida influye en su difusión: a mayor volumen de información entrante, menor es la probabilidad de que un usuario la procese y la propague (el usuario deja de oír). Esta propiedad, junto al hecho de que los usuarios con más seguidores son más eficientes, sugiere que para optimizar la difusión de información no hay que aumentar la actividad (insistir en el mensaje), si no aumentar la audiencia y que, a su vez, ésta no reciba sobreinformación a través de otros usuarios.

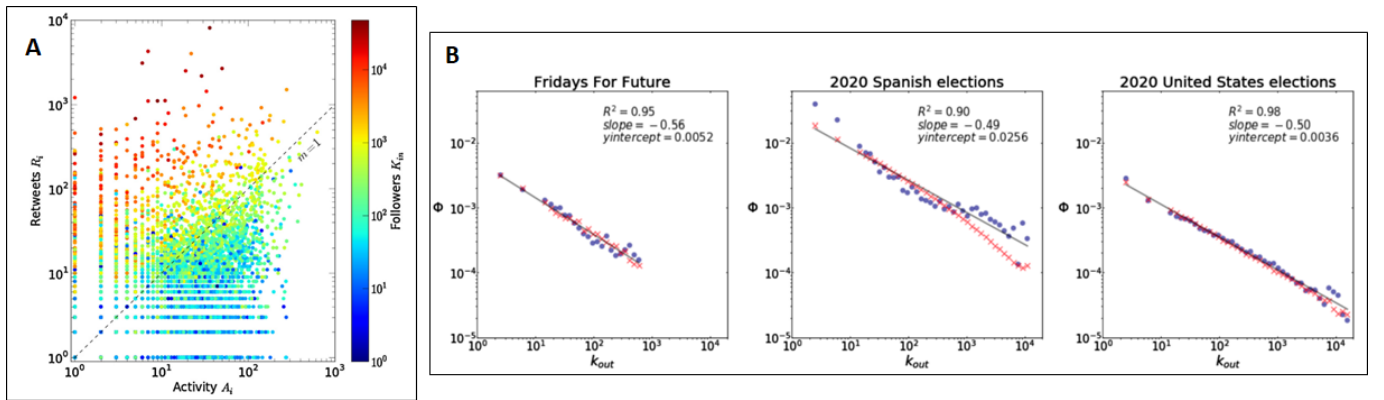


FIG. 1. A: Diagrama de dispersión de los retuits obtenidos por cada usuario en función de su actividad, coloreadas según su número de seguidores. B: Tasa de retuits,  $\Phi$ , en función del número de personas que sigue un usuario,  $k_{out}$ , en la red de retuits experimental (puntos azules) y la red de retuits simulada (x rojas) a partir del modelo

- [1] AJ Morales, J Borondo, JC Losada, RM Benito. Efficiency of human activity on information spreading on Twitter. *Social networks* **39**, 1-11 (2014)
- [2] Martin-Gutierrez, S., Losada, J.C., Benito, R.M. Impact of individual actions on the collective response of social systems. *Scientific Reports* **10**, 12126 (2020).
- [3] Atienza-Barthelemy, J.; Losada, J.C.; Benito, R.M. Modeling Information Diffusion on Social Media: The Role of the Saturation Effect. *Mathematics* **2025**, *13*, 963 (2025)

\* juancarlos.losada@upm.es

# Nuevos índices de viabilidad celular basados en la tasa de crecimiento

Juan Manuel Pastor,<sup>1,\*</sup> Carmen Ramírez Castillejo,<sup>2</sup> and Marta Sánchez-Díez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*GSC (UPM)*

<sup>2</sup>*CTB-UPM*

La eficacia y comparación entre distintos fármacos en el tratamiento del cáncer se suele estudiar a partir de la viabilidad celular. La viabilidad celular se mide comparando la población de células sometidas a un determinado fármaco con la población de la misma línea celular sin fármaco. Como el crecimiento de la población de células, a corto plazo y sin limitaciones externas, sigue una ley exponencial (ley de Malthus), al comparar poblaciones con diferentes tasas de crecimiento, su cociente también tendrá un crecimiento exponencial. En medicina y farmacología, el índice más utilizado para indicar la concentración de fármaco necesaria para controlar la proliferación celular es el IC50. Este índice representa la concentración de fármaco necesaria para que la viabilidad celular sea del 50%, es decir, que la población de células tratadas sea la mitad de la población de control. Además de ser un parámetro dependiente del tiempo (porque la viabilidad depende del tiempo), una viabilidad del 50% no expresa el efecto del fármaco sobre la proliferación celular, sino cuándo la población bajo tratamiento es la mitad de la población control, sin saber si en esa situación su tasa de crecimiento es alta o baja. Esto hace que no sea un índice muy indicativo del efecto del fármaco sobre la proliferación celular. En este trabajo proponemos un nuevo método para analizar los ensayos de viabilidad celular.

Este método consiste en calcular la tasa de crecimiento efectiva tanto para el control como para una serie de dosis del fármaco durante tiempos cortos en los que se puede suponer una proliferación exponencial. A partir de la relación de esas tasas efectivas de crecimiento se puede obtener la viabilidad para cualquier tiempo, o en sentido contrario, obtener la tasa de crecimiento para una viabilidad dada:

$$r_C = r_0 + \frac{1}{t} \ln \left( V_t \frac{N_C}{N_0} \right), \quad (1)$$

Experimentalmente se observa que la tasa de crecimiento muestra una caída exponencial con la concentración de fármaco. Para hacer el ajuste de la dependencia exponencial se hacen muestreos *bootstrap* de valores de las tasas de crecimiento distribuidos uniformemente dentro de los intervalos de error. Este ajuste permite obtener la concentración correspondiente a una tasa de crecimiento efectiva dada. Así podemos utilizar esta estimación para calcular el índice IC50 (ampliamente utilizado en los estudios de efectividad de fármacos) e introducimos dos nuevos parámetros:  $ICr_0$ , correspondiente a una tasa de crecimiento nula e  $ICr_{med}$  correspondiente a una tasa de crecimiento mitad a la de control. En resumen, este estudio presenta un nuevo método para analizar los ensayos de viabilidad celular e introduce dos parámetros más precisos para comparar y evaluar la eficacia de los tratamientos de inhibición de la proliferación celular.

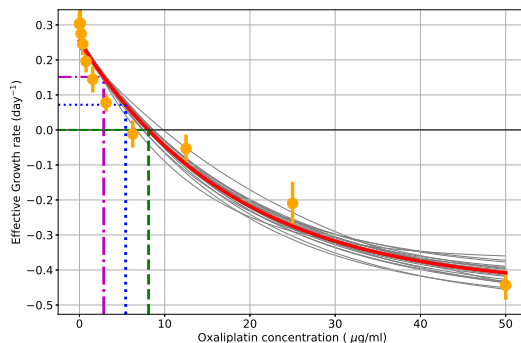


FIG. 1. Ajuste exponencial desplazado de las tasas de crecimiento con la concentración. La línea verde corresponde a una tasa de crecimiento nula, la línea azul correspondiente al IC50 y la línea morada a una tasa de crecimiento mitad a la de control.

[1] M.Sánchez-Díez *et al.*, *Assessment of Cell Viability in Drug Therapy: IC50 and Other New Time-Independent Indices for Evaluating Chemotherapy Efficacy*, *Pharmaceutics* **17**, 1820 (2025).

\* juanmanuel.pastor@upm.es; <http://www.gsc.upm.es>

# Universal skyrmion cloaking the vortex darkness

Miguel A. Porras<sup>1,\*</sup> and Nilo Mata-Cervera<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Grupo de Sistemas Complejos. ETSIME. Universidad Politécnica de Madrid, Ríos Rosas 21, Madrid 28003, Spain*

<sup>2</sup>*Centre for Disruptive Photonic Technologies, School of Physical and Mathematical Sciences, Nanyang Technological University, Singapore 637371, Republic of Singapore*

Optical vortices (OVs) are among the most fascinating phenomena in wave optics, sparking significant research advancements in recent years [1]. They are characterized by an azimuthal variation of the phase, resulting in a corkscrew-shaped wavefront as they propagate. The hallmark of OVs is the *phase singularity*, a point hidden in the darkness where the phase is undefined and the intensity drops to zero. As we trace a closed loop around the vortex singularity the phase wraps a number of full  $[0, 2\pi]$  cycles specified by the topological charge (TC). This structure appears as a fundamental solution of the scalar wave equation for monochromatic light, and it may be embedded in light beams of different shapes such as Bessel or Laguerre-Gauss beams carrying orbital angular momentum [2]. OVs have become the cornerstone of diverse branches of optics such as optical communications optical manipulation, super-resolution microscopy, to name a few.

Rich phenomena arise when various OVs are combined with different polarization features. For instance, when two circularly polarized vortices are superposed with opposite handedness and TCs, the electromagnetic fields feature azimuthal or radial polarization distributions, giving rise to a *polarization singularity*. They constitute an example of the so-called vector beams, where all linear polarization states at the equator of the Poincaré sphere (PS) are present in a transverse plane. A more sophisticated vector texture is the skyrmion, a vector field spanning the entire surface of a parametric sphere and fulfilling a topological map. Skyrmions are now realized with optical vectors such as the electromagnetic fields, the Poynting vector, the spin angular momentum, to cite a few. Skyrmions carry an integer, topologically invariant scalar quantity known as skyrmion number [3]. Today, the most common way to construct them is with the Stokes vector: two different spatial modes are superimposed in orthogonal polarizations such that the transverse plane maps all the surface of the PS [3].

In this talk we expose our recent work on OVs and skyrmions [4]. We have recently demonstrated that skyrmion is a fundamental feature of OVs. This attribute emerges naturally from their transverse-axial (TA) polarization features. The skyrmion differs substantially from standard Stokes skyrmions in that they are not constructed, instead they are inherent to OVs due to Maxwell's equations. As they arise in an OV from Gauss's divergence law, we refer to them as Gauss-Stokes (GS) skyrmions. The darkness of the phase singularity is cloaked by the longitudinal field yielding a *singularity of the plane of polarization*, or  $z$ -point following Nye's nomenclature. For transverse circular polarization (CP), this point is surrounded by a rich TA polarization texture, in which the polarization plane rotates azimuthally when we move *around the singularity*, and inclines from the transverse plane towards the optical axis when we go *towards the singularity*. The resulting polarization texture fulfills a skyrmion map from a 2-sphere to the transverse plane ( $S^2 \rightarrow R^2$ ) and carries an integer skyrmion number [Fig. 1]. We discuss the structure of these GS-skyrmions and suitable conditions for their observation [Fig.1], expose our experiment where we have verified its existences, and provide a theoretical demonstration of the universality of GS-skyrmions in OVs.

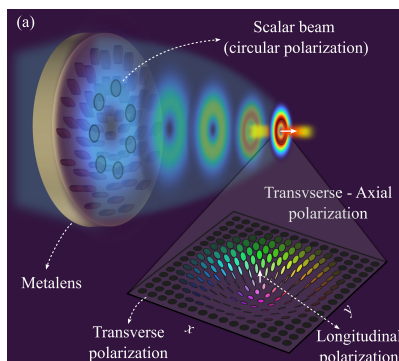


FIG. 1. GS-skyrmion emerging from the vortex singularity.

[1] A. Forbes, L. Mkhumbuzza, Light and L. Feng, *Nat. Rev. Phys.*, **6**, 352–364 (2024).

[2] L. Allen, M. Beijersbergen, R.J.C. Spreeuw, and J.P. Woerdman, *Phys. Rev. A*, **45**, 8185–8189 (1992).

[3] Z. Ye, S.M. Barnett, S. Franke-Arnold, J.B. Götte, A. McWilliam, F.C. Speirits, and C.M. Cisowski, *Proc. Royal Soc. A* **480**, 20240109 (2024).

[4] N. Mata-Cervera, D.K. Sharma, Y. Shen, R. Paniagua-Dominguez, M.A. Porras, arXiv preprint arXiv:2501.16687 (2025).

## Estilos de aprendizaje o cómo perder un año de vida

Fabio Revuelta,<sup>1,\*</sup> Javier Ablanque,<sup>1</sup> Víctor Gabaldón,<sup>1</sup> Patricia Almendros,<sup>2</sup> Juan Carlos Losada,<sup>1</sup> and Rosa María Benito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Física Interactiva and Grupo de Sistemas Complejos,  
E. T. S. Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas,  
Universidad Politécnica de Madrid, Avenida Puerta de Hierro 2-4, 28040 Madrid (Spain).

<sup>2</sup>Grupo de Innovación Educativa en Química y Análisis Agrícola,  
Departamento de Química y Tecnología de los Alimentos,  
E. T. S. Ingeniería Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas,  
Universidad Politécnica de Madrid, Avenida Puerta de Hierro 2-4, 28040 Madrid (Spain).

En la vida todos cometemos errores. En mi caso, no sé si empezar a estudiar los estilos de aprendizaje de mis estudiantes o coincidir en una viaje con Rosa en el que se le ocurrió hacer un estudio de componentes principales (PCA, por sus siglas en inglés). En fin, el caso es que he dedicado a esto los últimos meses. Y ahí seguimos.

En esta charla os contaré en qué consiste CHAEA<sup>3</sup>S, el paquete de software que hemos diseñado para el análisis integral de estilos de aprendizaje y calificaciones en entornos educativos [? ]. El software desarrollado implementa el análisis automático del cuestionario Honey-Alonso, que clasifica a los estudiantes en cuatro categorías: activista, teórico, reflexivo y pragmático. CHAEA<sup>3</sup>S ha sido concebido para ser accesible y fácil de usar (aunque su desarrollo no lo fue tanto), sin requerir conocimientos de programación, lo que permite a los docentes obtener con facilidad una visión profunda de las preferencias de aprendizaje de un número arbitrario de estudiantes, facilitando así una comprensión holística de la dinámica del aula.

Además de la mera clasificación, el software combina análisis estadísticos estándar de los estilos de aprendizaje con otras metodologías estadísticas avanzadas, como la PCA, una herramienta fundamental en ciencia de datos que, hasta ahora, ha sido escasamente utilizada en contextos educativos. Hemos hecho estudio también *clustering* y más cosas que os voy a contar :)

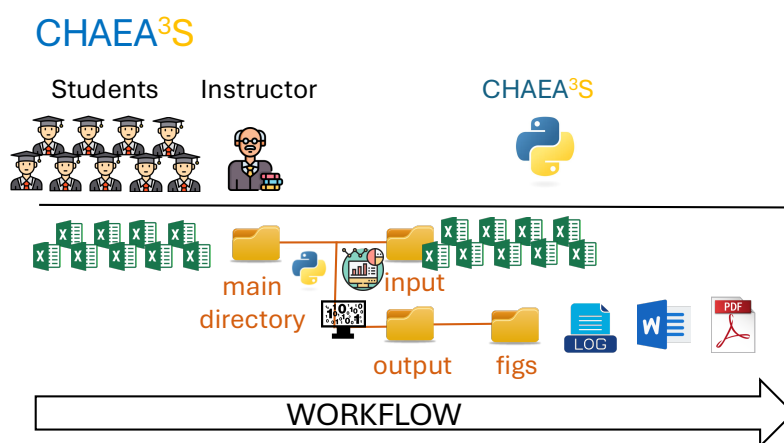


FIG. 1. ¿Qué hace CHAEA<sup>3</sup>S? Los estudiantes responden al cuestionario de estilos de aprendizaje de Honey-Alonso (CHAEA) y luego el profesor ejecuta el programa y... *voilà!* se genera un informe con el análisis de los resultados.

[1] J. Ablanque, V. Gabaldon, P. Almendros, J. C. Losada, R. M. Benito, and F. Revuelta. *CHAEA<sup>3</sup>S: A software for the automated principal-component analysis of learning styles* (enviado).

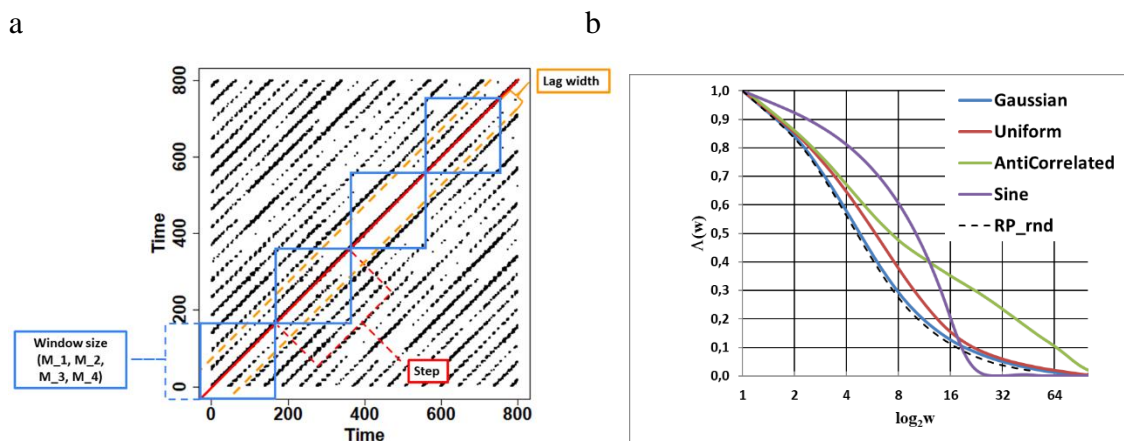
## Windowed recurrence plots and Lacunarity ratio to quantify dynamics.

Ana M. Tarquis<sup>1,2</sup>, Andrés F. Almeida-Ñauñay<sup>1,2</sup>, Ernesto Sanz<sup>1,2</sup>, Juan C. Losada<sup>2</sup>, Javier Borondo<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales, CEIGRAM, Universidad Politécnica de Madrid, Senda del Rey, 13, 28040 Madrid, Spain.

<sup>2</sup> Complex Systems Group, Universidad Politécnica de Madrid, Avda. Puerta de Hierro, nº 2-4, 28040 Madrid, Spain.

Grasslands are among Europe's most important ecological systems, characterised by complex, dynamic, and non-stationary behaviour that traditional analyses struggle to capture. Time series analysis, particularly using remote sensing (RS) and vegetation indices (VIs), has proven effective in revealing the spatiotemporal patterns of these ecosystems. However, advanced nonlinear techniques are needed due to the noisy and nonstationary nature of ecological time series. In this work, we aim to assess the response of NDVI to the temporal dynamics of temperature and precipitation in a semiarid area by applying nonlinear methods, including recurrence plots (RPs), cross-recurrence plots (CRPs), windowed recurrence plots (WRPs) (Fig. 1a). In this context, lacunarity analysis (Fig. 1b) will be applied to better characterise the system's complexity across different time scales.



**Figure 1.** a) Diagonal-wise recurrence profile (DWRP) scheme in a recurrence plot example. Red is the main diagonal and the length of each matrix. Blue represents each matrix studied (Mat\_1, Mat\_2, Mat\_3, Mat\_4). Orange corresponds to the lag studied in each one of the matrices. b) Lacunarity variation based on window size for different signals.

\* [anamaria.tarquis@upm.es](mailto:anamaria.tarquis@upm.es), <https://www.gsc.upm.es/ana-maria-tarquis-alfonso-2/>