



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Modelización matemática de la comunicación celular mediada por citonemas

Descripción general (resumen y metodología):

En biología del desarrollo y otras áreas de la biomedicina, la transmisión de señales entre células es esencial para la coordinación de funciones complejas. Tradicionalmente, esta comunicación se ha modelado como difusión libre de morfógenos a través de medios homogéneos. Sin embargo, recientes descubrimientos han revelado que en muchos sistemas esta transmisión se realiza a través de estructuras especializadas llamadas **citonemas**, que actúan como canales dirigidos para el transporte de señales. Este trabajo propone una **introducción matemática** al fenómeno, abordando tanto los **modelos clásicos de difusión tipo Turing** como las recientes **propuestas que incorporan transporte activo mediante citonemas**, comparando los distintos marcos y sus consecuencias en la formación de patrones.

Metodología:

- **Revisión teórica:** Estudio de artículos y libros sobre difusión, ecuaciones de Turing, y morfogénesis matemática.
- **Modelización matemática:**
 - Derivación de ecuaciones de reacción-difusión en medios continuos.
 - Análisis del modelo de Turing: condiciones para inestabilidad difusiva y aparición de patrones.
 - Introducción al transporte dirigido y estructurado: modelización de citonemas como **canales dirigidos**: Fundamentos biológicos. Propuestas recientes de modelización
- Cálculo de Variaciones con ligaduras no holónomas.
- **Estudio comparativo**

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

Objetivos generales (básicos):

- Introducción en los mecanismos de **comunicación celular** desde una perspectiva matemática.
- Comprender los **modelos de difusión y reacción-difusión** clásicos utilizados en la formación de patrones (modelo de Turing).
- Estudiar el fenómeno de **formación de patrones espaciales** en morfogénesis.
- Introducir el concepto y función biológica de los **citonemas** y su papel en la señalización dirigida.

Objetivo específico (extendido):

- Analizar e implementar un modelo matemático simplificado de comunicación celular **mediante citonemas** y discutir sus diferencias con los modelos puramente difusivos.

Bibliografía básica:

- Turing, A. M. (1952). The chemical basis of morphogenesis. Philosophical Transactions of the Royal Society B.

- Huang, S. Liu, T. B. Kornberg, Cytoneme-mediated contact-dependent transport of the *Drosophila* decapentaplegic signaling protein. *Science* 343, 1244624 (2014)
- Kornberg, T.B. & Roy, S. (2014). Cytoskeletal filopodia in cell signaling: What are they and what do they do?. *Development* 141(4):729-736
- Thomas B Kornberg, Distributing signaling proteins in space and time: the province of cytonemes, *Curr Opin Genet Dev.* 2017 Feb 24;45:22-27.
- Teimouri H, Kolomeisky AB. 2015. The role of source delocalization in the development of morphogen gradients. *Phys. Biol.* 12(2):026006.
- J.D. Murray, *Mathematical Biology* (Vol. I, II). Springer 2006.
- J.L.López & J Soler, *Modelos Matemáticos II: Cálculo de variaciones y ecuaciones en derivadas parciales con aplicaciones en Mecánica y Biología*, AVICAM, 2025.
- A. Aguirre-Tamaral, M. Cambón, D. Poyato, J. Soler, I. Guerrero, Predictive model for cytoneme guidance in Hedgehog signaling based on Ihog-Glypicans interaction, *Nature Communications* **13** (2022), 5647

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Cursar la asignatura optativa "Ecuaciones Diferenciales en Mecánica y Biología"

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JUAN SEGUNDO SOLER VIZCAINO

Ámbito de conocimiento/Departamento: MATEMÁTICA APLICADA

Correo electrónico: jsoler@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: JOSE MIGUEL CESPEDES CARMONA

Correo electrónico: jcscar2107@correo.ugr.es