



## Propuesta de Trabajo Fin de Grado en Física

<b>Tutor/a:</b>	Pablo Ignacio Hurtado Fernández
<b>Departamento y Área de Conocimiento:</b>	Electromagnetismo y Física de la materia
<b>Cotutor/a:</b>	
<b>Departamento y Área de Conocimiento:</b>	

<b>Título del Trabajo:</b>	Transiciones de fase en topologías complejas				
<b>Tipología del Trabajo:</b> (Segun punto 3 de las Directrices del TFG aprobadas por Comisión Docente el 10/12/14)	( Marcar con X)	1. Revisión bibliográfica	X	4. Elaboración de nuevas prácticas de laboratorio	
		2. Estudio de casos teórico-prácticos		5. Elaboración de un proyecto	
		3. Trabajos experimentales		6. Trabajo relacionado con prácticas externas	X

### Breve descripción del trabajo:

Existe un gran conjunto de sistemas en el mundo real que, pese a sus diferencias intrínsecas, tienen en común dos aspectos importantes: están formados por un gran número de elementos, y dichos elementos interaccionan entre sí de acuerdo a topologías complejas. Los ejemplos abundan, desde el cerebro humano, formado por multitud de neuronas conectadas entre sí en estructuras muy complejas, hasta internet y la World Wide Web, pasando por redes tróficas y ecológicas, osciladores acoplados en física, problemas de sincronización, etc. Hoy en día todos estos sistemas tan dispares se están empezando a comprender en profundidad y de una manera global gracias a la teoría de redes complejas, que deben su origen a la teoría de grafos aleatorios. En los últimos años, la teoría de redes complejas se ha desarrollado enormemente gracias a un enfoque mecano-estadístico del problema donde se generalizan conceptos como el de entropía, colectividad estadística, etc.

Un problema particularmente interesante y que sigue desafiando nuestra comprensión es cómo la topología compleja de la red subyacente afecta a los fenómenos físicos que se desarrollan sobre ella, y en particular a las posibles transiciones de fase que muestre el sistema de interés. Las transiciones de fase (cambios singulares en las propiedades emergentes de un sistema al variar un parámetro de control) juegan un papel esencial en toda la física teórica, y su caracterización a través de la teoría de fenómenos críticos sigue siendo un tema recurrente en física. En los últimos años, se ha abordado el estudio de transiciones de fase en las topologías complejas típicas de una red, viendo cómo las diferentes propiedades de la red (invariancia de escala, estructura small world, correlaciones, etc.) afectan su criticalidad.

De esta forma, el objetivo de este trabajo consiste en hacer una revisión bibliográfica en profundidad de los principales artículos publicados hasta el momento sobre transiciones de fase en topologías complejas, lo que incluye una caracterización de la estructura de una red compleja, una revisión de los modelos principales que se estudian sobre éstas (modelo de Ising, etc.) y de las herramientas teóricas más comunes que se usan en el estudio de transiciones de fase (hipótesis de escala de Widom y Kadanoff, exponentes críticos, renormalización, ceros de Yang y Lee, etc.)

### Objetivos planteados:

1. Revisión de la teoría de las redes complejas: concepto de red compleja, ejemplos a nivel natural y artificial.
2. Caracterización de la topología de una red y de sus propiedades principales y observables típicos.
3. Transiciones de fase en redes complejas. Modelos, teoría, investigaciones numéricas.
4. Aplicaciones en física y otras disciplinas



**Metodología:**

*En una primera fase, se abordará el estudio sistemático de los artículos de revisión principales sobre el campo de las redes complejas (ver bibliografía), poniendo el foco en las propiedades topológicas no triviales de estas redes. Una vez completada esta fase inicial, se pasará a analizar los modelos físicos más comunes que se definen sobre estas redes, con el objetivo de estudiar su criticalidad y cómo es modificada por la topología subyacente. Para ello abordaremos el estudio de algunos artículos de investigación recientes sobre fenómenos críticos en redes de gran impacto en la literatura.*

**Bibliografía:**

- Albert, R., & Barabási, A. L. (2002). "Statistical mechanics of complex networks. *Reviews of Modern Physics*, 74(1), 47–97.
- Krasnytska, M., "Phase transitions on complex networks", Université de Lorraine; Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2016. <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01383083>
- Yamada, K., Nakano, H. & Yamashita, M., *Prog. Theor. Phys.* 65, 1603 (1981). "Distribution of zeros of the partition function in the first and second order phase transitions: extension of the Lee-Yang theorem"
- Dorogovtsev, S. N., & Mendes, J. F. F. (2003). "Evolution of Networks: From Biological Nets to the Internet and WWW". Oxford (Vol. 57, p. 280).
- Barabási, A. L. (2013, March 28). "Network science". *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. Royal Society.
- Erdős, P., & Rényi, A. (1960). "On the evolution of random graphs". *Publication of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, 17–61. Retrieved from [http://ftp.math-inst.hu/~p\\_erdos/1959-11.pdf](http://ftp.math-inst.hu/~p_erdos/1959-11.pdf)
- Pastor-Satorras, R., Rubí, M., & Diaz-Guilera, A. (2003). "Statistical Mechanics of Complex Networks" (Ed. rev.). New York, United States: Springer.

**A rellenar sólo en el caso que el alumno sea quien realice la propuesta de TFG**

Alumno/a propuesto/a: Hannan Bousellam Heredia

Granada, 21 de Mayo 2019

Sello del Departamento



UNIVERSIDAD  
DE GRANADA



Facultad de Ciencias  
Sección de Físicas

---

*Campus Fuentenueva*  
*Avda. Fuentenueva s/n*  
*18071 Granada*  
*Tfno. +34-958242902*  
*fisicas@ngr.es*

**Comisión Docente de Físicas**  
Facultad de Ciencias