

## Máster en Física y Tecnologías Físicas

### 60035 - Física Estadística de fenómenos críticos y sistemas complejos

Guía docente para el curso 2015 - 2016

Curso: , Semestre: , Créditos: 5.0

---

## Información básica

---

### Profesores

- Luis Mario Floría Peralta [floria@unizar.es](mailto:floria@unizar.es)

### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Se trata de un curso avanzado de Física Estadística, esencialmente centrado en Transiciones de Fase y Fenómenos Críticos, así como en Física Interdisciplinar de Sistemas Complejos. Si bien su contenido es fundamentalmente de carácter teórico, el curso está diseñado para atraer tanto a experimentales como a teóricos. Se recomienda vivamente que el estudiante posea una adecuada formación en Física Cuántica, Termodinámica y Física Estadística.

### Actividades y fechas clave de la asignatura

Las actividades darán comienzo y finalizarán en las fechas indicadas a tal efecto por la Facultad de Ciencias.

Clases: 3-4 sesiones por semana. Fechas a especificar.

Sesiones de evaluación. A decidir.

---

## Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1:** El estudiante ha de ser capaz de formular y resolver energías libres en la aproximación de campo medio, así como calcular los exponentes críticos de las magnitudes termodinámicas y físico-estadísticas en esta aproximación.
- 2:** El estudiante ha de ser capaz de calcular la función de partición de sistemas-modelo apropiados usando el método de la matriz de transferencia.
- 3:** El estudiante ha de ser capaz de diseñar transformaciones del grupo de renormalización (RG) en el espacio de posiciones en modelos sencillos (p.ej., modelo de Ising, percolación, etc.).

- 4:** El estudiante ha de ser capaz de analizar diagramas de flujo (y mapas) de RG y calcular exponentes críticos en base a las técnicas de RG.
- 5:** El estudiante ha de ser capaz de construir modelos de fenómenos diversos fuera de los dominios de los sistemas físicos tradicionales y analizarlos usando las técnicas y procedimientos de la Física Estadística.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

El éxito espectacular de la física microscópica no debe ocultar a los estudiantes la importancia de la física macroscópica, un campo que por otra parte mantiene su vitalidad. En este sentido, la Física Estadística constituye una parte esencial de nuestra comprensión de la Naturaleza, y por tanto es un tema fundamental para la formación en física, ya que establece el puente entre la descripción microscópica de la materia y los campos y su comportamiento macroscópico. Los cambios de fase de la materia; es decir, las transiciones entre regímenes robustos y nítidamente diferenciados de estados macroscópicos de equilibrio, son ejemplos agudos de crisis general de sistemas. Su importancia radica no tanto en el hecho de que su descripción y consiguiente racionalización y comprensión supuso un esfuerzo sin precedentes de investigación en física experimental, teórica y matemática de varias décadas, como en la generalidad, profundidad y largo alcance de los resultados obtenidos.

---

## Contexto y competencias

---

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

#### La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:

El estudio de la teoría física actual de las transiciones de fase y los fenómenos críticos proporciona al estudiante de física una oportunidad única de combinar discusiones de soluciones exactas, simulaciones numéricas, resultados experimentales, ideas básicamente intuitivas (como p.ej., esquemas de grupo de renormalización) y métodos de la teoría de campos, de un modo que ilumina las similitudes y diferencias, así como las fortalezas y debilidades de estos acercamientos. Adicionalmente, se pone especial énfasis en la amplia generalidad de la teoría fuera del dominio de los sistemas físicos tradicionales, en campos científicos tan diversos como la dinámica de poblaciones, neurociencias, y sistemas sociales, tecnológicos y biológicos.

#### Contexto y sentido de la asignatura en la titulación

La formación en Física Estadística en los estudios de Grado se limita habitualmente al uso básico de los formalismos (canónicos generalizados) de la mecánica estadística en sistemas ideales (de componentes no interactuantes) tanto clásicos como cuánticos. Para un graduado en Física típico, el conocimiento sobre las transiciones de fase suele limitarse a la ecuación de Van der Waals para la transición líquido-gas (desde la perspectiva de la termodinámica clásica), la condensación de Bose-Einstein y la transición ferro-paramagnética (a partir tanto de simulaciones Monte Carlo como mediante la aproximación de campo medio) del modelo de Ising. La extensión de la mecánica estadística a sistemas con interacciones entre sus componentes y la teoría moderna de las transiciones de fase, así como una breve incursión en la física de sistemas complejos interdisciplinares se consideran como complementos esenciales en la formación de un físico del siglo XXI.

#### Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...

- 1:** Consolidar los conocimientos avanzados y la interrelación entre los diversos campos de la Física y las Tecnologías Físicas (CE3).
- 2:** Integrar conocimientos, enfrentarse a la complejidad y formular juicios con información limitada en el ámbito

de la Física y de sus Tecnologías (CE4).

- 3:** Profundizar en el análisis, tratamiento e interpretación de datos experimentales (CE5).
- 4:** Capacidad de trabajo y comunicación en un campo interdisciplinar.
- 5:** Comprender la fenomenología general de los fenómenos críticos.
- 6:** Comprender el fenómeno de universalidad y su aplicación en el razonamiento físico.
- 7:** Conocer las aproximaciones adecuadas en el análisis de fenómenos críticos.
- 8:** Entender el concepto de invariancia de escala y su aplicación en la teoría de fenómenos críticos.
- 9:** Comprender la extensión de los conceptos de universalidad y escalado a distintas ciencias.
- 10:** Reconocer el carácter común subyacente a diversos campos del conocimiento, de diversos conceptos, modelos y técnicas de la Física Estadística.

### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

Como se ha señalado en párrafos previos, el carácter troncal de la teoría de la física estadística y la amplitud de sus ubicuitas aplicaciones confiere a esta asignatura un papel altamente formativo, y de gran valor desde la perspectiva de la formación de investigadores.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

#### **El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

- 1:** La evaluación continua tendrá en cuenta el trabajo personal de los estudiantes a través del curso. Los alumnos tendrán que resolver ejercicios para la mayor parte de las secciones del curso. La evaluación de las soluciones presentadas otorgará un 45% de la nota final.
- 2:** Un examen consistente en cuestiones teóricas y algunos problemas (30% de la nota final).
- 3:** Una evaluación continua de técnica analíticas y numéricas empleadas en un trabajo de curso (25% de la nota final).

### **Superación de la asignatura mediante una prueba global única**

Aunque el curso está diseñado para estudiantes que puedan asistir presencialmente a las clases magistrales, habrá un examen sobre cuestiones teóricas y ejercicios para los alumnos imposibilitados para asistir, que también podrán realizar aquéllos que no superen las actividades previas de evaluación.

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

#### El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:

Principalmente orientado a la formación de futuros investigadores, los estudiantes asistirán a las clases magistrales y estudiarán y presentarán en público (con discusión en grupo) artículos de investigación seleccionados para adquirir los conocimientos necesarios sobre los contenidos de la asignatura (3 ECTS); resolverán ejercicios (tanto personalmente como en grupo) relacionados con los contenidos de la asignatura (1,2 ECTS); y llevarán a cabo un trabajo temático a lo largo del curso (0,8 ECTS).

### Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

#### El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...

##### 1:

Clases magistrales sobre los principales temas del curso, con los contenidos siguientes:

1. Introducción. Ejemplos y fenomenología de diversas transiciones de fase. Conceptos básicos: Parámetro de orden, exponentes críticos, fluctuaciones, scaling y universalidad.
2. Revisión de la Mecánica Estadística y la Termodinámica, con énfasis en fluctuaciones y funciones de correlación. Rotura espontánea de simetría. Metastabilidad.
3. Modelos: Percolación, Ising, XY, Heisenberg, Potts, Gaussiano, Esférico. Método de la matriz de transferencia. Soluciones exactas. Métodos numéricos.
4. Teoría de campo medio: Ising, percolación, gas no ideal. Derivación variational de la teoría. Funciones de correlación. Exponentes críticos. Teoría de Landau. Aproximación de punto silla al modelo de Landau-Ginzburg.
5. El modelo de Landau-Ginzburg. Rotura espontánea de simetría continua (modos Goldstone) y discreta (paredes de dominio). Experimentos de dispersión (scattering) y fluctuaciones. Funciones de correlación y susceptibilidades. Dimensión crítica inferior. Correcciones por fluctuaciones a la aproximación de punto silla. Dimensión crítica superior y criterio de Ginzburg.
6. Percolación: 1d, red de Bethe, 2d, hipótesis de scaling, relaciones de scaling, propiedades geométricas de clusters, exponentes críticos, renormalización en el espacio de posición.
7. Hipótesis de scaling. Formulación de Widom. Longitud de correlación e hipótesis de hyperscaling. Funciones de correlación críticas y auto-similaridad.
8. Grupo de Renormalización. Presentación conceptual (Kadanoff). Formalización (Wilson). Soluciones directa y RG del modelo Gaussiano. Desarrollos en  $\epsilon$ -expansión (4-d). Esquemas de RG en redes (diezmado, Migdal-Kadanoff, desarrollo de cumulantes de Niemeijer-Van Leeuwen).
9. Modelos dinámicos en fenómenos críticos. Criticalidad en estados estacionarios de no-equilibrio: criticalidad auto-organizada y aplicaciones en Ciencias Naturales.
10. Sistemas Complejos Interdisciplinarios. Transiciones de fase en teoría de redes, rotura de toros de KAM, epidemias, sincronización, dinámica de poblaciones, modelos de interacción social, dinámica evolutiva de juegos.

##### 2:

Sesiones interactivas de resolución de problemas.

##### 3:

Trabajo personal (y/o en grupo) del alumno en la resolución de ejercicios propuestos.

##### 4:

Estudio, exposición oral, y discusión en grupo de artículos de investigación seleccionados.

### Planificación y calendario

## **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

El calendario definitivo ha de hacerse. Se anunciará con suficiente antelación.

## **Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada**