



Resolución de Consejo Directivo **504 / 2025 - EXA -UNSa**  
EXP. 209/2025 - Dr. Javier Gutierrez eleva programa de la asignatura optativa  
**INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA DEL NO EQUILIBRIO Y SUS**  
**APLICACIONES** de la carrera de LICENCIATURA en Física (Plan 2005)  
**De: EXACTAS-Dirección de Alumnos**



Salta,  
11/09/2025

VISTO: La presentación efectuada por el Dr. Javier Gutierrez, solicitando la aprobación del Programa, Régimen de Regularidad y Promoción de la asignatura "optativa INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA DEL NO EQUILIBRIO Y SUS APLICACIONES de la Carrera de LICENCIATURA EN FISICA (Plan 2005)".

CONSIDERANDO:

Que, el citado Programa, Régimen de Regularidad y Promoción, cuenta con la opinión favorable del Departamento de FISICA y de la Comisión de Carrera de Licenciatura en FISICA, obrante en las presentes actuaciones.

Que, la Comisión de Docencia e Investigación aconseja aprobar el Programa Analítico y el Régimen de Regularidad y Promoción.

Que, el Consejo Directivo en su 10° Sesión Ordinaria del 18 de Junio del 2025, aprobó por unanimidad el despacho de Comisión de Docencia e Investigación.

Que, el Estatuto de la Universidad Nacional de Salta en el Artículo 113 inciso 8, "*entre los deberes y atribuciones que le confiere al Consejo Directivo, incluye aprobar los programas Analíticos y la reglamentación sobre el Régimen de Regularidad y Promoción propuesto por los módulos Académicos*".

POR ELLO, y en uso de las atribuciones que le son propias:

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

RESUELVE:

ARTICULO 1.- Aprobar el programa Analítico, el Régimen de Regularidad y Promoción de la asignatura optativa INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA DEL NO EQUILIBRIO Y SUS APLICACIONES de la Carrera de LICENCIATURA EN FISICA (Plan 2005), que como Anexo forma parte de la presente Resolución.

ARTICULO 2.- Notifíquese fehacientemente al docente responsable de la asignatura optativa INTRODUCCIÓN A LA ESTADÍSTICA DEL NO EQUILIBRIO Y SUS APLICACIONES de la Carrera de LICENCIATURA EN FISICA, Dr. Javier Gutierrez. Hágase saber con copia a la Comisión de Carrera de Licenciatura en Física, al Departamento de Física, a la Secretaría de Coordinación Institucional, a la Secretaria Académica y de Investigación, a la Dirección de Mesa de Entrada Archivo y Digesto, a la Dirección de Alumnos, para su toma de razón, registro y demás efectos. Publíquese en Boletín Oficial. Página web de la Facultad, Cumplido. Archívese.

FJAA./SC

**Dra. Silvana Mabel Campos**  
Secretaria de Coordinación Institucional  
Facultad de Ciencias Exactas - UNSa



**Dr. JOSÉ RAMÓN MOLINA**  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa

**Asignatura:** Introducción a la Estadística del no Equilibrio y sus Aplicaciones

Profesores Responsables: Dr. Javier Gutierrez - Dra. Ivana Ramos

Jefe de Trabajos Prácticos: Dr. Javier Gutierrez - Dra. Ivana Ramos

Fecha de Presentación: 9/5/2025

Modalidad de Dictado: Presencial en el 2do Cuatrimestre

Carga Horaria Total: 6 hs semanales

Modalidad: Teórico-Práctica

Requisitos para cursar:

Haber aprobado Física Moderna I y Laboratorio II

Tener regularizada Mecánica Estadística y Física Moderna II.

**Objetivos del curso**

El curso tiene como propósito brindar una formación en los fundamentos estadísticos de sistemas fuera del equilibrio, integrando herramientas teóricas y computacionales. Se espera que al Analizar el curso los estudiantes sean capaces de:

Comprender los principios estadísticos que gobiernan sistemas en no-equilibrio, incluyendo ruptura de equilibrio y fenómenos irreversibles

Aplicar el formalismo de ecuaciones maestras, Langevin y Fokker-Planck al estudio de relajación y transporte en medios complejos.

Implementar simulaciones numéricas de procesos característicos del no-equilibrio como difusión anómala y transporte desordenado.

Analizar críticamente resultados en el contexto de sistemas físicos reales fuera del equilibrio.

**Contenidos mínimos:**

Espacios de probabilidad y variables aleatorias. Movimiento browniano. Ecuaciones diferenciales estocásticas (Itô y Stratonovich). Ecuación de Fokker-Planck. Métodos numéricos para procesos estocásticos y caminatas aleatorias continuas. Difusión anómala. Transporte en medios desordenados. Modelado computacional de sistemas con desorden.

**Unidad 1:** Fundamentos Estadísticos en Sistemas en No-Equilibrio

Espacio de probabilidad. Variables aleatorias discretas y continuas. Esperanza, varianza y momentos superiores. Función generadora de momentos y función característica. Ley de los grandes números. Teorema central del límite: implicancias físicas. Movimiento browniano como límite de caminatas aleatorias. Ecuación de Langevin: derivación formal y contexto físico. Teorema de fluctuación-disipación: fundamentos y aplicaciones en sistemas fuera del equilibrio.

**Unidad 2:** Fokker-Planck en Procesos Irreversibles

Proceso de Wiener: propiedades de continuidad, martingala y estacionariedad de incrementos.

Formulación de ecuaciones diferenciales estocásticas (EDE) en la interpretación de Itô y Strato-novich. Derivación de la ecuación de Fokker-Planck desde una EDE. Resolución analítica de la ecuación de Fokker-Planck para potenciales armónicos y lineales. Consideraciones sobre irreversibilidad. Teoría de respuesta lineal. Aplicaciones a sistemas térmicos.

### **Unidad 3:** Simulación Numéricos de No-Equilibrio

Implementación computacional de dinámicas fuera del equilibrio. Algoritmos para generación de ruido térmico. Métodos de integración numérica para ecuaciones de Langevin y Fokker-Planck (Euler-Maruyama y variantes). Validación estadística de simulaciones. Análisis de convergencia y errores sistemáticos.

### **Unidad 4:** Difusión Anómala en No-Equilibrio

Distinción entre difusión normal y anómala. Modelado mediante caminatas aleatorias continuas (CTRW) con distribuciones de tiempos de espera no exponenciales. Efectos de trampas energéticas y potenciales desordenados. Escalamiento temporal y leyes de potencias. Ejemplos físicos: transporte en vidrios, polímeros y membranas biológicas. Difusión con estados internos y mecanismos de relajación múltiple. Métodos de simulación de CTRW. Análisis de trayectorias y exponente de difusión efectivo.

### **Unidad 5:** Transporte Irreversible en Medios Desordenados.

Distinción entre transporte clásico y cuántico: condiciones de validez. Conductividad eléctrica y térmica: definición a partir de flujos macroscópicos. Derivación y aplicaciones de la fórmula de Kubo. Modelo del gas de Lorentz: formulación e implementación computacional. Aproximaciones de medio efectivo y sus limitaciones. Teoría de percolación aplicada a redes de transporte. Fórmula de Scher y Lax: interpretación física y aplicaciones. Modelos aplicados a semiconductores amorfos, óxidos desordenados y materiales biológicos. Simulación de conducción en redes aleatorias.

### **Unidad 6:** Modelado Computacional de No-Equilibrio

Modelado de sistemas en no-equilibrio con desorden estructural o energético. Implementación computacional eficiente utilizando herramientas modernas. Estrategias de optimización del flujo de trabajo computacional. Validación y visualización de resultados: trayectorias, funciones de correlación, histogramas y escalamiento. Énfasis en buenas prácticas de programación científica: documentación, modularización, testing. Elaboración de documentación profesional del código y resultados. Presentación oral y escrita del proyecto final, incluyendo análisis crítico y proyección a problemas abiertos.

## **Bibliografía**

### **Bibliografía Básica**

Cáceres, M. O. (2007). Elementos de estadística de no equilibrio y sus aplicaciones en medios desordenados. Editorial Revertré. S.A.

Van Kampen, N. G. (2007). Stochastic Processes in Physics and Chemistry (3ra ed.). Elsevier.

Gardiner, C. W. (2009). Stochastic Methods: A Handbook for the Natural and Social Sciences

(4ta ed.). Springer.

Huang, K. (1987). Statistical Mechanics (2da ed.). Wiley.

Pathria, R. K. & Beale, P. D. (2011). Statistical Mechanics (3ra ed.). Elsevier.

Risken, H. (1996). The Fokker-Planck Equation: Methods of Solution and Applications (2da ed.). Springer.

Alonso, M. & Finn, E. J. (1992). Física, Vol. 3: Mecánica Cuántica y Estadística. Addison-Wesley.

Eisberg, R. & Resnick, R. (1994). Física Cuántica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas (5ta ed.). Limusa.

Newman, M. E. J. (2013). Computational Physics. CreateSpace Independent Publishing Platform.

### **Bibliografía Complementaria**

Landau, D. P. & Binder, K. (2014). A Guide to Monte Carlo Simulations in Statistical Physics (4ta ed.). Cambridge University Press.

Barkema, G. T. & Newman, M. E. J. (1999). Monte Carlo Methods in Statistical Physics. Oxford University Press.

Lemons, D. S. (2002). An Introduction to Stochastic Processes in Physics. Johns Hopkins University Press.

Recursos Computacionales

Harris, C. R. et al. (2020). Array programming with NumPy. Nature, 585, 357-362. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2

Optuna Documentation. (2023). Recuperado de <https://optuna.org/>

Virtanen, P. et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python. Nature Methods, 17, 261-272.

CuPy Documentation. (2023). Recuperado de <https://docs.cupy.dev/>

NVIDIA CUDA Toolkit Documentation. (2023). Recuperado de <https://docs.nvidia.com/cuda/>

### **Propuestas de temas para los Trabajos Prácticos**

En todos los casos, se proveerá de un código base, en el que el estudiante deberá realizar las

modificaciones necesarias para resolver los diferentes ejercicios propuestos.

### **Trabajo Práctico N° 1**

1. Simulación de variables aleatorias en sistemas térmicos (distribución de Boltzmann)

Simulación de poblaciones moleculares en equilibrio térmico. Se exploran conceptos como la distribución de velocidades en un gas ideal o la ocupación de niveles energéticos en sistemas discretos (e.g., modelos de espines o estados vibracionales).

2. Cálculo de funciones características para osciladores armónicos

Evaluación de funciones de partición y observables termodinámicos en sistemas cuánticos o clásicos de osciladores. Se conecta con la cuantización del campo electromagnético o fonones en sólidos.

3. Análisis de correlaciones temporales en series de velocidades moleculares

Estimación de funciones de autocorrelación de velocidades en líquidos simulados por dinámica molecular. Esencial para la obtención del coeficiente de difusión vía relaciones de Green-Kubo.

**Trabajo Práctico N° 2**

1. Implementación numérica del proceso de Wiener

Representación de trayectorias de partículas sometidas a ruido blanco. Base para simular movimiento browniano o fluctuaciones en variables termodinámicas.

2. Resolución de ecuaciones de Langevin con ruido multiplicativo

Modelado de sistemas fuera del equilibrio con disipación dependiente del estado, como partículas cargadas en medios viscoelásticos o en campos no homogéneos.

3. Solución numérica de Fokker-Planck para potenciales periódicos

Transporte de partículas en redes cristalinas o medios periódicos. También relevante para

estudios de ratchets térmicos y motores estocásticos.

**Trabajo Práctico N° 3**

1. Aceleración de caminatas aleatorias con Numba

Difusión de partículas en redes o medios complejos. Utilizado para simular procesos de percolación o relajación en materiales desordenados.

2. Implementación de Monte Carlo para spins

Simulación de modelos de Ising y/o Heisenberg. Exploración de transiciones de fase en sistemas magnéticos mediante métodos de Metropolis o Wolff.

3. Validación de teoremas límite con NumPy

Comprobación empírica del teorema central del límite en sistemas con muchas partículas.

Relevante para justificar distribuciones gaussianas en ruido térmico o fluctuaciones.

**Trabajo Práctico N° 4**

1. Migración de código a GPU: difusión en medios desordenados

Modelado eficiente del transporte en materiales como vidrios, polímeros o medios porosos.

Escalabilidad en simulaciones de gran volumen.

2. Visualización interactiva de trayectorias brownianas

Análisis experimental de la dinámica microscópica de partículas suspendidas (e.g., en microscopía de partículas trazadoras).

3. Simulación de CTRW en medios con trampas energéticas

Modelado de dinámicas subdifusivas en sistemas con desorden energético, como transporte en polímeros amorfos o en vidrios de espín.

**Trabajo Práctico N° 5**

1. Simulación del modelo del gas de Lorentz

Estudio de trayectorias caóticas y difusión en medios con dispersores fijos. Relevante para problemas de transporte electrónico o neutrones en sólidos.

2. Estimación computacional de la conductividad en redes aleatorias

Evaluación del transporte eléctrico o térmico en materiales heterogéneos (e.g., redes de carbono, materiales compuestos).

3. Comparación entre transporte clásico y cuántico en medios desordenados

Estudio del fenómeno de localización de Anderson, interferencia cuántica, y aplicaciones a materiales semiconductores o sistemas mesoscópicos.

**Trabajo Final**

1. Modelado e implementación computacional de un sistema físico desordenado

Trabajo autónomo con elección libre, por ejemplo: conducción térmica en vidrios, localización cuántica, movilidad en redes, entre otros.

2. Optimización del flujo de trabajo computacional y análisis de resultados

Evaluación comparativa entre métodos computacionales, incluyendo eficiencia y escalabilidad, aplicada al problema físico elegido.

3. Documentación profesional y presentación del proyecto final

Comunicación científica formal del problema, resultados y conclusiones, emulando prácticas de publicaciones o presentaciones en congresos.

**Sistema de Evaluación**

Trabajos prácticos (40 %): Implementación de modelos estocásticos en sistemas físicos

Exámenes parciales (30 %): Análisis teórico y resolución de problemas

Proyecto final (30 %): Investigación de un tema de aplicación con presentación escrita y oral

**Condiciones de Aprobación**

La asignatura admite el régimen de promoción.

Para promocionar la materia se debe cumplir los siguientes requisitos:

Asistencia mínima del 80 %

Aprobar todos los trabajos prácticos (nota  $\geq 6$ )

Nota mínima de 7 en el proyecto final

Promedio mínimo de 7 en los exámenes parciales

Tener aprobada Mecánica Estadística y Física Moderna II

Los estudiantes que no promocionen pero aprueben los parciales (nota  $\geq 6$ ) quedan en condición

de regular. El resto libre.

### Recursos

Repositorio GitHub con códigos base.

Cluster de GPUs del Departamento de Física (NVIDIA A4000 / A2000)

Dataset público de trayectorias brownianas experimentales: [https://doi.org/10.6084/m9.](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.123456)

figshare.123456

  
**Dra. Silvina Mabel Campos**  
Secretaria de Coordinación Institucional  
Facultad de Ciencias Exactas - UNSa



  
**Dr. JOSÉ RAMÓN MOLINA**  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa