



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

## ASIGNATURA / COURSE TITLE

Neurociencia / Neuroscience

### 1.1. Código / Course number

32683

### 1.2. Materia / Content area

Módulo optativo de especialidad: Biofísica/ Elective specialization module: Biophysics

### 1.3. Tipo / Course type

Optativa

### 1.4. Nivel / Course level

Máster

### 1.5. Curso/ Year

1º / 1<sup>st</sup>

### 1.6. Semestre / Semester

2º / 2<sup>nd</sup> (Spring semester)

### 1.7. Idioma / Language

Castellano o inglés / spanish or english

### 1.8. Requisitos previos / Prerequisites

Los alumnos deben haber aprobado al menos las asignaturas obligatorias de especialidad del primer semestre ('Métodos teóricos' y 'Métodos experimentales' en Biofísica), o demostrar conocimientos equivalentes por otros cursos de posgrado /

The students should have attended and passed at least the specialization compulsory subjects of the first semester (Theoretical and Experimental Methods in Biophysics), or credit equivalent knowledge from other postgraduate courses.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

## 1.9. Requisitos mínimos de asistencia a las sesiones presenciales / **Minimum attendance requirement**

La asistencia es obligatoria en un 80%.

Attendance is 80% compulsory.

## 1.10. Datos del equipo docente / **Faculty data**

Coordinador / **Coordinator**: Néstor Parga Carballeda  
Departamento de / **Department of** : Física Teórica  
Facultad / **Faculty** : Ciencias  
Despacho - Módulo / **Office - Module** : 312-15  
Teléfono / **Phone**: +34 91 497 4542  
Correo electrónico/**Email**: nestor.parga@uam.es  
Página web/**Website**: <http://www.ft.uam.es/neurociencia/nestor/>  
Horario de atención al alumnado/**Office hours**: 17:00-18:30

## 1.11. Objetivos del curso / **Course objectives**

Adquirir conocimientos sobre el estado actual de la Neurociencia de Sistemas, computacional y teórica que permitan al estudiante profundizar en la bibliografía de este campo. Aprender a modelizar funciones cerebrales básicas tales como la memoria operativa o la toma de decisiones basadas en la percepción. Adquirir experiencia en el uso de algoritmos de aprendizaje y plasticidad sináptica.

El objetivo de esta asignatura es conseguir fomentar, a través de la metodología docente empleada y las actividades formativas desarrolladas a lo largo del curso, que el estudiante, al finalizar el mismo sea capaz de:

- Tener un buen conocimiento de las nociones básicas de Neurociencia.
- Poseer información sobre las cuestiones actualmente más relevantes de Neurociencia de Sistemas.
- Comprender y saber interpretar la bibliografía actual sobre el conjunto de temas cubiertos por el programa.

Estos resultados de aprendizaje contribuyen a la adquisición de las siguientes competencias del título:

BÁSICAS Y GENERALES: CG1, CG2, CG3, CG4, CG5, CB6, CB7, CB8, CB9, CB10.

ESPECÍFICAS: CE10, CE6, CE7, CE8, CE9.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

The students will acquire knowledge about the state of the art of theoretical and computational Systems Neuroscience. They will learn to model brain functions such as working memory or perceptual decision-making. They will also obtain experience on synaptic plasticity and learning algorithms.

## 1.12. Contenidos del programa / Course contents

### **Tema 1:**

Neurociencia de Sistemas. Descripción de las propiedades de las neuronas. Potenciales de equilibrio. Circuito eléctrico equivalente. Canales iónicos. Modelo de Hodgkin-Huxley. Modelo de integración y disparo. Adaptación de la frecuencia de disparo. Simulaciones numéricas.

#### **Bibliografía:**

P Dayan y L Abbott. Theoretical Neuroscience. MIT Press, 2001  
Bears, Connors y Paradiso. Neuroscience: Exploring the brain.

### **Tema 2:**

Transmisión sináptica. Redes de neuronas. Modelos de redes corticales. Simulación numérica de redes de neuronas. Comportamientos dinámicos de redes. Propagación de señales en redes de neuronas.

#### **Bibliografía:**

T Vogels y L Abbott (2005), J. Neuroscience 25: 10786  
N Brunel (2000), J. Computational Neuroscience  
Kumar, Rotter y Aertsen (2010), Nature Reviews Neurosci. 11: 615-627

### **Tema 3:**

Análisis de las propiedades estadísticas de los trenes de espigas. Variabilidad de la respuesta neuronal. Distribuciones de los intervalos entre espigas. Factor de Fano. Funciones de correlaciones de la actividad de pares de neuronas. Correlaciones de señal y correlaciones de ruido.

#### **Bibliografía:**

Shadlen y Newsome (1998), J Neurosci. 18(10):3870–3896.

### **Tema 4:**

Breve descripción de técnicas experimentales. Electrofisiología. Actividad de Multiunidad y potencial de campo local. EEG. MEG. fMRI. Optogenética.

#### **Bibliografía:**

Buzsaki (2004), Nature Neuroscience 7: 446

### **Tema 5:**

Dinámica de redes corticales y su relación con el comportamiento. Actividad espontánea. Estado asíncrono. Oscilaciones gamma. Oscilaciones lentas.

#### **Bibliografía:**



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

H Noda y WR Adey (1970) *J. Neurophysiology* 33: 672-684.  
J Poulet y C Petersen (2008), *Nature* 454: 881-885.  
N Parga y L Abbott (2007), *Frontiers in Neuroscience* 1: 57-66.

### **Tema 6:**

Código neuronal. Códigos de tasa de disparo y temporales. Elementos de Teoría de la Información. Optimización en sistemas neuronales. Correlaciones entre pares de neuronas y su efecto sobre el código neuronal.

#### **Bibliografía:**

P Dayan y L Abbott. *Theoretical Neuroscience*. MIT Press, 2001  
J Atick (1992), *Network* 3: 213-251.

### **Tema 7:**

Memoria operativa (“working memory”). Descripción de experimentos. Memoria espacial y memoria de reconocimientos de objetos. Modelización. Concepto de atractores. Atractores discretos y continuos. Simulación numérica de modelos de memoria operativa.

#### **Bibliografía:**

Y Miyashita y H Chang (1988), *Nature* 331, 68-70.  
S Funahashi, C Bruce y P Goldman-Rakic (1989), *J. Neurophysiology* 61: 331-349  
Brunel y Wang (2001), *J. Computational Neurosci* 11: 63-85.

### **Tema 8:**

Toma de decisiones basadas en la percepción. Descripción de experimentos. Decisiones sobre la percepción visual. Decisiones sobre la percepción táctil. Correlato neuronal. Modelización. Teoría de detección de señales. Curvas ROC. Modelos basados en la difusión. Modelos basados en atractores. Simulación numérica de modelos de toma de decisiones.

#### **Bibliografía:**

Shadlen y Newsome (2001), *J of Neurophysiology* 86: 1916–1936.  
de Lafuente y R Romo (2005), *Nature Neuroscience* 8, 1698-1703.

### **Tema 9:**

Hipótesis de Hebb. Plasticidad sináptica. Grupos neuronales. Memoria asociativa. Descripción de experimentos. Modelo de Hopfield.

#### **Bibliografía:**

Y Miyashita (1988), *Nature* 335, 817-820.  
V Yakovlev, S Fusi, E Berman y E Zohay (1998), *Nature Neuroscience* 1(4): 310-317  
D Amit (1989). *Modeling Brain Function*. Cambridge University Press.  
J Hertz, A Krogh y R Palmer (1991). *Introduction to the theory of neural computations*. Addison-Wesley.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

### **Tema 10:**

Plasticidad sináptica. NMDA. LTP y LTD. Plasticidad sináptica dependiente de los tiempos de las espigas (STDP). Modelos. Simulación numérica de modelos de STDP.

#### **Bibliografía:**

Bears, Connors y Paradiso. Neuroscience: Exploring the brain.

S Song, K Miller y L Abbott (2000), Nature Neuroscience 3: 919-926.

### **Tema 11:**

Tipos de aprendizaje. Condicionamiento clásico y condicionamiento instrumental. Aprendizaje con refuerzo. Algoritmos. Correlato neuronal del aprendizaje con refuerzo y el neuromodulador dopamina.

Aprendizaje supervisado y no supervisado. Dificultades de aprendizaje en redes recurrentes. Aplicaciones en Neurociencia.

#### **Bibliografía:**

Sutton y Barto, Reinforcement Learning: an introduction

Sussillo y Abbott (2009), Neuron 63, 544–557.

J Hertz, A Krogh y R Palmer (1991). Introduction to the theory of neural computations. Addison-Wesley.

### **Tema 12:**

Memoria y navegación espacial. Hipocampo. Place cells. Grid cells. Sistema navegador de la rata. Modelos de atractores y modelos de una neurona en hipocampo y corteza entorrhinal. Implementación del sistema de navegación espacial en robots.

#### **Bibliografía:**

B McNaughton, F Battaglia, O Jensen, E Moser y M-B Moser (2006), Nature Reviews Neuroscience 7: 663-678.

T Wills, C Lever, F Cacucci, N Burgess y J O'Keefe (2005), Science 308: 873-876.

J Leutgeb, S Leutgeb, A Treves, R Meyer, C Barnes, B McNaughton, M-B Moser y E Moser, Neuron 48: 345-358.

B Blumenfeld, S Preminger, D Sagi y M Tsodyks (2006), Neuron 52: 383-394.

Arleo y Gerstner (2000), Biological Cybernetics, 83:287-299.

### **Topic 1:**

Systems Neuroscience. Neuron properties. Equilibrium potentials. Equivalent electric circuit. Ionic channels. Hodgkin-Huxley model. Integrate-and-fire model neurons. Firing rate adaptation. Numerical simulations.

#### **Bibliography:**

P Dayan and L Abbott. Theoretical Neuroscience. MIT Press, 2001

Bears, Connors and Paradiso. Neuroscience: Exploring the brain.

### **Topic 2:**

Synaptic transmission. Cortical networks. Models of cortical networks. Numerical simulations of model neural networks. Network dynamics. Signal propagation in neural networks.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

#### Bibliography:

T Vogels and L Abbott (2005), *J. Neuroscience* 25: 10786  
N Brunel (2000), *J. Computational Neuroscience*  
Kumar, Rotter and Aertsen (2010), *Nature Reviews Neurosci.* 11: 615-627

#### Topic 3:

Statistical analysis of spike trains. Variability of the neuronal response. Inter-spike-interval distribution. Fano factor. Auto- and cross-correlation functions. Signal and noise correlations.

#### Bibliography:

Shadlen and Newsome (1998), *J Neurosci.* 18(10):3870-3896.

#### Topic 4:

Brief description of experimental techniques. Electrophysiology. Multiunit activity and local field potential. EEG. MEG, fMRI. Optogenetics.

#### Bibliography:

Buzsaki (2004), *Nature Neuroscience* 7: 446

#### Topic 5:

Dynamics of cortical networks in relations to behavior. Spontaneous activity. The asynchronous state. Gamma and other neuronal rhythms. Slow oscillations.

#### Bibliography:

H Noda and WR Adey (1970) *J. Neurophysiology* 33: 672-684.  
J Poulet and C Petersen (2008), *Nature* 454: 881-885.  
N Parga and L Abbott (2007), *Frontiers in Neuroscience* 1: 57-66.

#### Topic 6:

The neural code. Rate and time codes. Introduction to Information Theory. Optimization in neural systems. Pairwise correlations and their effect on the neural code.

#### Bibliography:

P Dayan and L Abbott. *Theoretical Neuroscience*. MIT Press, 2001  
J Atick (1992), *Network* 3: 213-251.

#### Topic 7:

Working memory. Discussion of some experiments. Spatial and object visual working memory. Computational models. Discrete and continuous attractors. Numerical simulations of models of working memory.

#### Bibliography:

Y Miyashita and H Chang (1988), *Nature* 331, 68-70.  
S Funahashi, C Bruce and P Goldman-Rakic (1989), *J. Neurophysiology* 61: 331-349  
Brunel and Wang (2001), *J. Computational Neurosci* 11: 63-85.

#### Topic 8:

Perceptual decision making. Discussion of experiments. Decisions based on visual perception. Decisions based on tactile perception. Neural correlate of decision processes. Computational models. Signal detection theory. ROC curves. Diffusion



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

models of decision making. Attractor models. Numerical simulations of decision-making models.

Bibliography:

Shadlen and Newsome (2001), *J of Neurophysiology* 86: 1916-1936.

de Lafuente and R Romo (2005), *Nature Neuroscience* 8, 1698-1703.

Topic 9:

Hebb postulates. Synaptic plasticity. Neural assemblies. Associative memory. Discussion of some experiments. Hopfield model.

Bibliography:

Y Miyashita (1988), *Nature* 335, 817-820.

V Yakovlev, S Fusi, E Berman and E Zohay (1998), *Nature Neuroscience* 1(4): 310-317

D Amit (1989). *Modeling Brain Function*. Cambridge University Press.

J Hertz, A Krogh and R Palmer (1991). *Introduction to the theory of neural computations*. Addison-Wesley.

Topic 10:

Synaptic plasticity. Role of NMDA. Long-term potentiation and long-term depression (LTP and LTD). Spike-timing dependent plasticity (STDP). Models and simulations of STDP.

Bibliography:

Bears, Connors and Paradiso. *Neuroscience: Exploring the brain*.

S Song, K Miller and L Abbott (2000), *Nature Neuroscience* 3: 919-926.

Topic 11:

Classification of learning algorithms. Classical and instrumental conditioning. Reinforcement learning. Algorithms of reinforcement learning. Neural correlate of reinforcement learning. Role of the dopamine neuromodulator. Supervised and non-supervised learning. Difficulties in learning in recurrent networks. Applications in neuroscience.

Bibliography:

Sutton and Barto, *Reinforcement Learning: an introduction*

Sussillo and Abbott (2009), *Neuron* 63, 544-557.

J Hertz, A Krogh and R Palmer (1991). *Introduction to the theory of neural computations*. Addison-Wesley.

Topic 12:

Memory and spatial navigation. Hippocampus. Place cells. Grid cells. The rat's navigation system. Attractor models in the hippocampus and entorhinal cortex. Applications to the navigation systems in robots.

Bibliography:

B McNaughton, F Battaglia, O Jensen, E Moser and M-B Moser (2006), *Nature Reviews Neuroscience* 7: 663-678.

T Wills, C Lever, F Cacucci, N Burgess and J O'Keefe (2005), *Science* 308: 873-876.

J Leutgeb, S Leutgeb, A Treves, R Meyer, C Barnes, B McNaughton, M-B Moser and E Moser, *Neuron* 48: 345-358.

B Blumenfeld, S Preminger, D Sagi and M Tsodyks (2006), *Neuron* 52: 383-394.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

Arleo and Gerstner (2000), *Biological Cybernetics*, 83:287-299.

### 1.13. Referencias de consulta / Course bibliography

P Dayan y L Abbott. *Theoretical Neuroscience*. MIT Press, 2001  
Bears, Connors y Paradiso. *Neuroscience: Exploring the brain*.  
Sutton y Barto, *Reinforcement Learning: an introduction*  
D Amit (1989). *Modeling Brain Function*. Cambridge University Press.  
J Hertz, A Krogh y R Palmer (1991). *Introduction to the theory of neural computations*.  
Addison-Wesley.

## 2. Métodos docentes / Teaching methodology

Clases magistrales  
Seminarios.  
Discusión de artículos.  
Preparación y presentación de trabajos.  
Trabajo práctico de simulaciones numéricas.

Lectures.  
Seminars.  
Journal club.  
Elaboration of a scientific project.  
Work on numerical simulations.

## 3. Tiempo de trabajo del estudiante / Student workload

	Nº de horas	Porcentaje
--	-------------	------------





Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

Presencial	Clases teóricas	32 h	45%
	Seminarios	5 h	
	Realización del examen final	8 h	
	Tutorías	10 h	10 %
No presencial	Estudio semanal	25 h	25 %
	Preparación seminario		
	Preparación del examen	20 h	20 %
<b>Carga total de horas de trabajo</b>		<b>100 h</b>	

#### 4. Métodos de evaluación y porcentaje en la calificación final / Evaluation procedures and weight of components in the final grade

La evaluación estará basada en el grado de participación de los estudiantes durante las clases presenciales y en la preparación y discusión de un proyecto científico. Este último se presentará en modo oral al final del curso.

Los resultados de aprendizaje serán evaluados a lo largo del curso mediante diferentes métodos de evaluación, cuya contribución a la calificación final será la siguiente:

- A) grado de participación de los estudiantes durante las clases presenciales: 35%
- B) la preparación de un proyecto científico: 30%
- C) presentación del proyecto científico, en modo oral al final del curso: 35%

- La participación en las clases presenciales se evaluará teniendo en cuenta la aplicación de los contenidos teóricos a la resolución de problemas concretos del tema expuesto. También serán consideradas las críticas y/o defensa de los argumentos realizados por parte del estudiante.

- En la elaboración del proyecto científico se evaluarán la capacidad de análisis y síntesis, de búsqueda y selección de información, de estructuración o elaboración de informes y de interpretación de resultados.

- En la presentación oral del proyecto científico se evaluarán los conocimientos adquiridos sobre el tema del proyecto así como el análisis crítico y la capacidad de síntesis que demuestre la exposición.

Evaluation will be based on the degree of participation of the students during the lectures and on the elaboration and discussion of a scientific project. The latter will be presented as a talk at the end of the course.



Asignatura: Neurociencia  
Código: 32683  
Centro: Facultad de Ciencias  
Titulación: Máster en Física de la Materia Condensada y de los  
Sistemas Biológicos  
Nivel: Máster  
Tipo: Optativa  
Nº de créditos: 4 ECTS

## 5. Cronograma\* / Course calendar

Semana aprox. Week	Contenido Contents	Horas presenciales Contact hours	Horas no presenciales Independent study time
1-3	Conceptos básicos de Neurociencia. Modelos de neurona y de red cortical. Código neuronal y correlaciones.	12	Solución de problemas sobre temas de las clases presenciales. Trabajo sobre simulaciones numéricas. 15 h
4-5	Memoria operativa. Toma de decisiones. Modelización y simulaciones numéricas	8	Solución de problemas sobre temas de las clases presenciales. Trabajo sobre simulaciones numéricas. Inicio de la preparación del proyecto. 15h
6-8	Plasticidad sináptica. Aprendizaje con refuerzo. Condicionamiento. Algoritmos de aprendizaje.	12	Solución de problemas sobre temas de las clases presenciales. Trabajo sobre simulaciones numéricas. Preparación del proyecto. 15 h
9	Presentaciones y examen.	8	

\*Este cronograma tiene carácter orientativo.