



# Máster en Iniciación a la Investigación en Geología 60320 - Paleomagnetismo

Guía docente para el curso 2013 - 2014

Curso: 1, Semestre: 2, Créditos: 4.0

---

## Información básica

---

### Profesores

- **Andrés Gil Imaz** agil@unizar.es

- **Pablo Santolaria Otin** psotin@unizar.es

### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Es recomendable que los alumnos tengan unos conocimientos básicos de física general y de geología general

### Actividades y fechas clave de la asignatura

#### Información específica

Fecha de inicio de la asignatura: Primer Lunes del 2º cuatrimestre

Fecha de la salida de campo: Primer Jueves del 2º cuatrimestre

Fecha práctica de laboratorio: Primer Viernes del 2º cuatrimestre

Fecha de finalización de la asignatura: Segundo Viernes del 2º cuatrimestre

Fecha entrega de trabajos: finales de Abril

---

## Inicio

---

### Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

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

- 1:** Conoce los fundamentos teóricos del paleomagnetismo, así como las técnicas necesarias para desarrollar sus distintos campos de aplicación.
- 2:** Ha adquirido competencia en el trabajo de campo propio del paleomagnetismo y en las técnicas habituales en

paleomagnetismo y magnetismo de las rocas.

- 3:** Es capaz de determinar direcciones paleomagnéticas a partir de los resultados de la desmagnetización progresiva de muestras de roca, así como realizar los análisis estadísticos para determinar direcciones medias y su incertidumbre.
- 4:** Domina las técnicas básicas de la interpretación de datos paleomagnéticos, fundamentalmente para su aplicación en tectónica, geocronología y estudios ambientales.
- 5:** Puede comprender la metodología y los resultados de un trabajo de investigación del campo del paleomagnetismo.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

En esta asignatura se pretende que los estudiantes conozcan los fundamentos del paleomagnetismo y sus aplicaciones para resolver problemas en diferentes ámbitos de las Ciencias de la Tierra (tectónica, geocronología, geomagnetismo, magnetismo ambiental, etc.). La asignatura tiene un carácter práctico e incluye todas las fases de un estudio paleomagnético, desde la toma de muestras y análisis en el laboratorio (en colaboración con el Departamento de Física la Universidad de Burgos) hasta el tratamiento y la interpretación de resultados.

---

## 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:

Esta asignatura es de interés para estudiantes de procedencia diversa (geología, física, biología, ingeniería geológica o de minas, etc.) y con interés en la investigación en diversos campos de las Ciencias de la Tierra, en los que el paleomagnetismo es de fundamental aplicación. La asignatura puede aportar una base fundamental a los alumnos que pretendan dedicarse a realizar estudios paleomagnéticos, pero aporta unos conocimientos básicos que permitan a alumnos que se dediquen en el futuro a otras líneas de investigación el análisis crítico de los estudios paleomagnéticos y sus diversas aplicaciones.

Los objetivos fundamentales de la asignatura consisten en proporcionar al alumno el conocimiento de los fundamentos teóricos del paleomagnetismo, así como las técnicas necesarias para desarrollar sus distintos campos de aplicación, haciendo especial hincapié en su aplicación en tectónica de placas, tectónica regional, magnetoestratigrafía, magnetismo ambiental y fabricas magnéticas. La asignatura tendrá un importante componente práctico, familiarizando al alumno en las técnicas de muestreo, análisis de laboratorio e interpretación de datos paleomagnéticos.

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

Esta asignatura, junto con las de *Petrofábrica de rocas deformadas y fábrica magnética*, *Modelización analógica de procesos tectónicos*, *Análisis de paleoesfuerzos: métodos y aplicaciones*, *Cuencas extensionales*, y *Neotectónica y Sismotectónica*, permite al alumno obtener una formación específica en los métodos y técnicas de iniciación a la investigación en los diferentes campos de la Geodinámica Interna y Geología Estructural. Es también una asignatura de especial interés para los alumnos que quieran especializarse en Estratigrafía (Magnetostatigrafía) y en Geología ambiental (magnetismo ambiental).

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

- 1:** Conocer los fundamentos y técnicas de laboratorio habituales en paleomagnetismo y magnetismo de rocas.

- 2: Realizar el trabajo de campo incluyendo la toma de muestras paleomagnéticas orientadas
- 3: Realizar trabajo básico de laboratorio; Aislar componentes paleomagnéticas a partir de datos en bruto de desmagnetización térmica y por campos alternos.
- 4: Analizar estadísticamente los resultados paleomagnéticos para obtener direcciones paleomagnéticas medias con su incertidumbre.
- 5: Interpretar los resultados de las pruebas de estabilidad paleomagnética (pliegue, inversión, conglomerado).
- 6: Interpretar los datos paleomagnéticos para su aplicación en diferentes campos de aplicación.
- 7: Analizar la mineralogía magnética a partir de los resultados de análisis de magnetismo de las rocas.
- 8: Comprender y analizar críticamente un estudio paleomagnético aplicado a cualquier rama de las Ciencias de la Tierra.

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

El paleomagnetismo es un campo de la geofísica que tiene una aplicación fundamental en distintos campos de las Ciencias de la Tierra (tectónica, geocronología, correlación geológica, arqueología, estudios paleoambientales, etc). El registro de la magnetización remanente de las rocas refleja la dirección del campo magnético terrestre del pasado. Este puede utilizarse como un sistema de referencia para estudiar la dinámica de la corteza terrestre y sus variaciones como referencia geocronológica. Además los procesos ambientales en la atmósfera, hidrosfera y litosfera fuerzan transformaciones en los minerales magnéticos que son detectados fácilmente aplicando técnicas de magnetismo de las rocas. Esta disciplina se denomina magnetismo ambiental. Por tanto los estudios paleomagnéticos y de magnetismo de las rocas son de aplicación en muchas disciplinas dentro de las Ciencias de la Tierra, como la paleontología, estratigrafía, tectónica, geocronología, arqueología, etc. Por ello este curso es de interés para estudiantes que en su futuro profesional vayan a dedicarse a alguna de estas líneas de investigación. Por otra parte los estudios paleomagnéticos tienen un marcado carácter multidisciplinar, aspecto fundamental en la formación de los estudiantes.

---

## **Evaluación**

---

### **Actividades de evaluación**

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

- 1: **Evaluación continua.** Esta modalidad de evaluación contemplará tres aspectos. En primer lugar la resolución de ejercicios o casos en las sesiones de prácticas (40% de la nota global). En segundo lugar, la realización de un informe del trabajo con los resultados y la interpretación de una de las prácticas elegida por ellos (30% de la nota global). Por último, los alumnos deberán realizar un pequeño trabajo con un análisis crítico de un artículo de investigación en paleomagnetismo ajustado a la especialidad o interés de cada uno de ellos (30% de la calificación final).
- 2: **Evaluación global.** El estudiante que no opte por la evaluación continua, o que no supere la asignatura por este procedimiento, deberá realizar una prueba global que consistirá en dos exámenes. El primero, de carácter *teórico*, consistirá en la resolución de cuestiones relativas a los distintos temas tratados en la asignatura. En el segundo, de carácter *práctico*, el alumno deberá resolver varios ejercicios relativos tanto a las prácticas de gabinete como de laboratorio realizadas a lo largo de la asignatura. Esta prueba se realizará

en cada una de las convocatorias a las que tengan derecho los estudiantes, en las fechas asignadas por la Facultad de Ciencias y publicadas en su página Web. La convocatoria especificando la hora y lugar de realización de cada prueba se publicará en el tablón de anuncios del departamento de Ciencias de la Tierra (3ª planta del Edificio C de Ciencias).

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

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

**Clases teóricas.** Se dedican a la adquisición de conocimientos básicos sobre los principios y aplicaciones del paleomagnetismo. La teoría se desarrollará en tres bloques temáticos: a) Fundamentos del paleomagnetismo (geomagnetismo, magnetismo de la materia, magnetización de las rocas y mineralogía magnética), b) Técnicas de paleomagnetismo (trabajo de campo, técnicas de desmagnetización, análisis de datos, estadística, técnicas de magnetismo de las rocas, etc) y c) Aplicaciones (aplicaciones en tectónica, geocronología, magnetismo ambiental y fábricas magnéticas).

**Trabajo de campo.** Se dedicará un día de trabajo de campo a las técnicas de muestreo para los distintos campos de aplicación. En concreto se realizará un muestreo paleomagnético dedicado a magnetoestratigrafía y otro a magnetotectónica. (8 horas)

**Trabajo de laboratorio.** Se realizará una visita al laboratorio de paleomagnetismo de la Universidad de Burgos, en el que los alumnos podrán aprender las técnicas fundamentales y aplicarlas a las muestras recogidas en el campo en la actividad anterior realizada la sesión previa. (5 horas)

**Prácticas de gabinete con datos paleomagnéticos reales.** Los alumnos se adiestrarán en el manejo de programas básicos de análisis de datos paleomagnéticos. Analizarán datos paleomagnéticos correspondientes a estudios dirigidos a la a) magnetoestratigrafía, b) tectónica de placas, c) tectónica regional, d) test de estabilidad paleomagnética, e) fábricas magnéticas. (15 horas).

**Análisis crítico de un artículo de investigación** sobre paleomagnetismo y realización un pequeño trabajo sobre el mismo.

### 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:**  
**Temas que se desarrollarán en las clases de teoría:**

*1.- El Campo Magnético Terrestre*

- Sistemas de referencia. Coordenadas geomagnéticas
- Descripción del Campo Magnético Principal. Modelos del Campo Magnético Terrestre. Campo Magnético Terrestre de origen externo
- Variación Secular
- Inversiones de Polaridad

*2.- Fundamentos de magnetismo de los materiales*

- Propiedades magnéticas de la materia. Diamagnetismo, paramagnetismo, ferromagnetismo
- Anisotropía magnética, anisotropía de forma.
- Dominios magnéticos
- Comportamiento de un grano magnético ante la aplicación de un campo externo. Histéresis.
- Efecto de la temperatura. Tiempo de relajación

*3.- Mecanismos de adquisición de Imanación Remanente Natural*

- Imanación termorremanente (TRM) y termorremanencia parcial (pTRM)
- Imanación remanente viscosa (VRM)
- Imanación remanente química (CRM)
- Imanación remanente deposicional y postdeposicional (DRM y pDRM)

#### 4.- Minerales ferromagnéticos

- Oxidos de hierro: titanomagnetitas, titanomaghemitas y titanohematites
- Oxi-hidróxidos de hierro: goetita
- Sulfuros de hierro: greigita y pirrotina

#### 5.- Técnicas de paleomagnetismo

- Hipótesis del paleomagnetismo
- Trabajo de campo
- Técnicas de desimanación: térmica y por campos alternos
- Sistemas de representación
- Tratamiento estadístico de los datos en paleomagnetismo
- Tests de campo de estabilidad paleomagnética: del plirgue, de las inversiones, del conglomerado.

#### 6.- Técnicas de magnetismo de las rocas

- Análisis de la susceptibilidad magnética
  - Variación de la susceptibilidad con la frecuencia
  - Variación de la susceptibilidad con la temperatura
- Remanencias magnéticas adquiridas en el laboratorio
  - Magnetización remanente anhisterética (ARM)
  - Adquisición de magnetización remanente isoterma (IRM)
  - Desimanación por campos alternos de IRM
  - Desimanación térmica de IRM
  - Relación entre remanencias magnéticas
- Determinación de la temperatura de Curie.
- Ciclos de histéresis y diagramas FORC

#### 7.- Aplicaciones en Tectónica

- Introducción
- Tectónica de Placas
- Tectónica y geología estructural a escala regional

#### 8.- Geocronología y Estudio del Campo Magnético Terrestre

- Introducción
- Secuencia de inversiones del Campo Magnético Terrestre (Magnetoestratigrafía)
- Estudio de la Variación Secular del Campo Magnético Terrestre
- Paleointensidad y paleointensidad relativa del Campo Magnético Terrestre
- Arqueomagnetismo

#### 9.- Fábricas magnéticas

- Introducción
- Aplicaciones tectónicas
- Aplicaciones estratigráficas

#### 10.- Magnetismo Ambiental

- Introducción
- Estudio de procesos deposicionales. Influencia climática y del medio sedimentario
- Estudio de procesos diagenéticos.
- Estudios de contaminación
- Introducción al biomagnetismo

**2:**

#### **Prácticas:**

- I – Magnetoestratigrafía
- II – Tectónica de placas
- III – Rotaciones de eje vertical
- IV – Test de estabilidad paleomagnética
- V – Fábricas magnéticas

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

#### 4 créditos ECTS:

- Horas de teoría: 12
- Horas de prácticas (laboratorio): 20
- Horas de prácticas de campo: 8
- Horas otros (Trabajo personal y actividades relacionadas): 60
- Total horas: 100

Esta asignatura dura dos semanas de curso intensivo. El horario será:

Primera semana: Lunes, martes y miércoles de 16.00 a 19.00 (Teoría en un aula 1 del edificio C)

Jueves (jornada de trabajo de campo)

Viernes de 9.00 a 14.00 (Prácticas en el Laboratorio de Paleomagnetismo de la Universidad de Burgos)

Segunda semana: Lunes y martes de 16.00 a 19.00 (Teoría en un aula 1 del edificio C)

Miércoles, jueves y viernes de 9.00 a 14.00 (Prácticas en el Aula Prisma).

## Recursos

### Bibliografía

- \*- Robert F. Butler, Paleomagnetism: Magnetic Domains to Geologic Terranes, Blackwell Science Inc 1991 (Con permiso del autor para realizar copias personales desde su página web: <http://lewis.up.edu/chp/butler/books/main.htm>)
- \*- Lisa Tauxe, Paleomagnetic Principles and Practice, Kluwer Academic Pub. 2002,  
<http://earthref.org/MAGIC/books/Tauxe/2005/>
- M. W. McElhinny, Michael W. McElhinny, Phillip L. McFadden, Paleomagnetism: Continents and Oceans, Academic Press, 2000.
- D. H. Tarling, Palaeomagnetism, Chapman & Hall. 1983
- Ronald T. Merrill, Michael W. McElhinny, M. W. McElhinny, Michael McElhinny, Phillip L. McFadden, The Magnetic Field of the Earth: Paleomagnetism, the Core, and the Deep Mantle, Academic Press, 1998
- David J. Dunlop, Özden Özdemir, Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers, Cambridge U Press. 2001
- D. W. Collinson, Methods in Rock Magnetism and Paleomagnetism, Chapman & Hall 1983
- Rob Van Der Voo, Paleomagnetism Of The Atlantic, Tethys And Iapetus Oceans, Cambridge University Press. 1993
- Neil D. Opdyke, James E. T. Channell, J. Channell, J. G. Channell, Magnetic Stratigraphy, Academic Press. 1996
- Michael E. Evans, Friedrich Heller, Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnetics, Academic Press. 2003

**(Las monografías marcadas con \* son las obras fundamentales )**

## Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- Butler, Robert F.. Paleomagnetism : magnetic domains to geologic terranes / Robert F. Butler Oxford : Blackwell, Basil, 1992
- Collinson, D.W.. Methods in rock magnetism and palaeomagnetism : techniques and instrumentation / D.W. Collinson London ; New York : Chapman and Hall, 1983
- Dunlop, D.J.. Rock Magnetism: Fundamentals and Frontiers. Cambridge University Press, 2001
- Evans, M.E.. Environmental Magnetism: Principles and applications of Enviromagnetics. Academic Press, 2003
- McElhinny, M.W.. Paleomagnetism: Continents and Oceans. Academic Press, 2000
- Merrill, Ronald T.. The magnetic field of the earth : paleomagnetism, the core, and the deep mantle / Ronald T. Merrill, Michael W. McElhinny, Phillip L. McFadden San Diego [etc.] : Academic Press, cop. 1998
- Opdyke, N.D.. Magnetic Stratigraphy. Academic Press, 1996
- Talring, D.H.. Palaeomagnetism. Chapman & Hall, 1983
- Van Der Voo, R.. Paleomagnetism of the Atlantic, Tethys and Iapetus Oceans. Cambridge University Press