

## 26408 - Geología estructural

### Información del Plan Docente

<b>Año académico</b>	2018/19
<b>Asignatura</b>	26408 - Geología estructural
<b>Centro académico</b>	100 - Facultad de Ciencias
<b>Titulación</b>	296 - Graduado en Geología
<b>Créditos</b>	9.0
<b>Curso</b>	2
<b>Periodo de impartición</b>	Primer Semestre
<b>Clase de asignatura</b>	Obligatoria
<b>Módulo</b>	---

### 1. Información Básica

#### 1.1. Objetivos de la asignatura

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

Los objetivos generales de la asignatura se plantean en tres planos distintos:

(a) Aprendizaje de aspectos conceptuales y metodológicos a través de actividades expositivas y razonamiento fundamentalmente deductivo.

(b) Aplicación práctica de técnicas de representación y tratamiento de datos.

(c) Desarrollo de la capacidad de exploración e investigación de problemas mediante procedimientos empíricos, desde la toma de datos en campo hasta su interpretación final.

Objetivos generales:

1) Conocer los diversos tipos de estructuras tectónicas: definición, clasificaciones, características geométricas, cinemáticas y dinámicas de las deformaciones desde escala microscópica a cartográfica.

2) Desarrollar habilidades de observación y toma de datos de las estructuras tectónicas en el campo.

3) Aprender a manejar las principales herramientas de representación y análisis de las estructuras.

4) Conocer los criterios para aplicar los conceptos y modelos de Geología Estructural a la interpretación tectónica regional y a campos de interés económico.

5) Desarrollar la capacidad de aprendizaje autónomo, adquiriendo madurez en el uso de la bibliografía (en español e inglés) y adoptando una actitud crítica en el manejo de la información.

6) Desarrollar la capacidad de trabajo en equipo, y adquirir soltura en la comunicación oral y escrita de conocimientos y resultados científicos.

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

La asignatura de Geología Estructural se enmarca en una línea de aprendizaje sobre aspectos geométricos de la Geología, enlazando con las materias de Cartografía Geológica y de Geofísica y Tectónica Global. Requiere el desarrollo de visión y razonamiento espacial, de representación y análisis gráfico, de capacidad de observación en el campo, y de interpretación cinemática-evolutiva de las estructuras geológicas. Esta asignatura tiene su continuidad en las asignaturas optativas del grado *Análisis Estructural: técnicas y aplicaciones* y *Tectónica: cuencas y orógenos*.

#### 1.3. Recomendaciones para cursar la asignatura

La asignatura se enmarca en una línea de aprendizaje sobre aspectos geométricos de la geología, que engloba a las

## 26408 - Geología estructural

materias de Cartografía Geológica y de Geofísica y Tectónica Global. Requiere el desarrollo de visión y razonamiento espacial, de representación y análisis gráfico, de capacidad de observación en el campo, y de interpretación cinemática-evolutiva de las estructuras geológicas. Su aprendizaje exigirá más esfuerzo en el ámbito de la comprensión y el razonamiento que en el puramente memorístico.

Se recomienda: (1) asistir a todas las actividades de la asignatura, (2) seguir la asignatura con un plan de trabajo continuado, estudiando los contenidos teóricos conforme se imparten y llevar al día los trabajos y cuestionarios planteados y (3) hacer uso del material puesto a disposición del alumno en el Anillo Digital Docente y de las tutorías académicas.

### 2.Competencias y resultados de aprendizaje

#### 2.1.Competencias

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

- Reconocer, describir y clasificar las principales estructuras tectónicas.
- Interpretar los mecanismos genéticos de cada tipo de estructura.
- Aplicar los métodos de estudio geométrico, cinemático y dinámico más adecuados a cada tipo de estructura y en función de los datos disponibles.
- Identificar en campo las estructuras de deformación y sus elementos geométricos.
- Tomar datos estructurales en el campo; hacer observaciones a escala cartográfica y de afloramiento, realizar cortes y esquemas; tomar orientaciones con la brújula.
- Identificar estructuras de deformación y sus elementos en muestras de mano y lámina delgada.
- Manejar los principales métodos de representación, análisis y tratamiento gráfico de la geometría y orientación de las estructuras: proyección estereográfica, planos acotados, cortes estructurales, bloques diagrama, mapas de contornos.
- Reconstruir los mecanismos genéticos de las estructuras reales, su evolución cinemática, su contexto dinámico y, en el caso de deformaciones polifásicas, su secuencia cronológica.

#### 2.2.Resultados de aprendizaje

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

- Identifica los principales tipos de estructuras tectónicas y conoce sus características geométricas y sus mecanismos genéticos.
- Realiza mapas, cortes geológicos y esquemas que reflejen la geometría de las estructuras y las relaciones entre ellas, a partir de observaciones de campo.
- Mide en el campo la orientación de las estructuras tectónicas utilizando brújula y clinómetro.

## 26408 - Geología estructural

-Representa, trata y analiza los elementos estructurales, planos o lineales, mediante proyección estereográfica, sistema de planos acotados y bloques diagrama.

-Localiza y lee artículos científicos en español y en inglés; selecciona y comprende la información relevante que contienen en relación con problemas concretos.

-Trabaja de forma autónoma y en equipo; realiza y redacta un trabajo científico original; expone y defiende en público sus resultados.

-Conoce y utiliza el léxico concreto de Geología Estructural tanto en español como en inglés. Las actividades desarrolladas en inglés en el conjunto de la asignatura se estiman en 1 ECTS.

### 2.3.Importancia de los resultados de aprendizaje

La Geología Estructural es una pieza básica del entramado de las Ciencias de la Tierra, y su aprendizaje es fundamental, por sí mismo y por sus relaciones con el resto de las disciplinas. El estudio de las estructuras tectónicas obliga a ejercitarse en las observaciones de detalle, en el análisis sistemático y concienzudo de la información, y en el razonamiento riguroso para abordar su interpretación. Comprender sus mecanismos de desarrollo, y la interacción de éstos con los procesos sedimentarios, magmáticos, metamórficos, geomorfológicos o hidrogeológicos, es fundamental tanto para el geólogo general como para el especialista en cualquiera de estos campos.

La Geología Estructural tiene, a la vez, importantes aplicaciones tecnológicas. El marco tectónico explica el desarrollo, geometría y evolución de las cuencas sedimentarias. La exploración y explotación de yacimientos minerales y energéticos (carbón, petróleo, gas), muchos de ellos controlados tectónicamente en su génesis o en su geometría final, precisa del estudio en profundidad de las macroestructuras. Las condiciones de explotación de rocas industriales depende también en muchos casos del conocimiento preciso de la geometría de las anisotropías que presentan. La arquitectura y los parámetros mecánicos de la red de discontinuidades son asimismo decisivos en la caracterización geotécnica de macizos rocosos. El conocimiento de las fallas activas y de su tasa de movimiento es condición indispensable para los cálculos de peligrosidad en Sismología e Ingeniería Sísmica. La evaluación de otros riesgos naturales, como deslizamientos de laderas o colapsos kársticos, requiere también conocer la estructura de los materiales y aprender a detectar en ellos paleodeformaciones que puedan ser indicadoras de los procesos actuales.

## 3.Evaluación

### 3.1.Tipo de pruebas y su valor sobre la nota final y criterios de evaluación para cada prueba

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

#### (a) Actividades de evaluación continua durante el desarrollo presencial de la asignatura

En el desarrollo normal de la asignatura, es decir, realizado de forma presencial por el estudiante durante el curso, la evaluación se hará atendiendo a las siguientes actividades de evaluación continua:

a.1) **Prácticas de gabinete y laboratorio.** Se entregarán y evaluarán algunas de las prácticas realizadas durante el curso. El número dependerá del número de estudiantes y deberá entregarse a la semana siguiente de realizarla/entregarla en el aula. Se evalúan resultados de aprendizaje 1, 2, 4, 6 y 7.

a.2) **Trabajo de campo.** Incluye la revisión de las notas de campo de las excursiones y de una memoria individual que incluya las observaciones, análisis, resultados e interpretaciones más relevantes obtenidas en una de las áreas visitadas y seleccionada por el profesor. Se evalúan resultados de aprendizaje 1, 2, 3, 4, 6 y 7.

## 26408 - Geología estructural

a.3) **Desarrollo y presentación de un tema.** Los alumnos, por parejas, escogerán uno de los temas propuestos y trabajarán tutelados por el profesor. Redactarán un pequeño trabajo (mínimo 4 páginas) incluyendo los aspectos teóricos más relevantes y las figuras necesarias para facilitar la comprensión del tema por el resto de los estudiantes del grupo y la bibliografía utilizada correctamente referenciada. Se entregará en versión electrónica (formatos .doc, .pdf), deberán realizar una presentación en *power point* o similar (duración máxima 15 minutos) y defenderla ante el resto de estudiantes y el profesor en una sesión de seminario. Se evalúan resultados de aprendizaje 5, 6 y 7.

a.4) **Pruebas escritas parciales.** Durante el curso se realizarán dos pruebas escritas (estimadas en 2.30 h de duración cada una) que constarán de dos partes: (a) cuestiones breves teórico-prácticas, relacionadas con los aspectos básicos de cada parte del programa, que incluirá preguntas de tipo test y preguntas con respuestas cortas que pueden incluir dibujos de estructuras; (b) ejercicio práctico que estará basado en las prácticas de la asignatura. Se evalúan resultados de aprendizaje 1, 4 y 5.

El alumno que no haya superado la asignatura durante la evaluación continua (*caso general*) deberá presentarse en el periodo de evaluación final, al menos, a las partes de la pruebas escritas parciales (actividad de evaluación a.4) no superadas durante el desarrollo del curso y, en su caso, realizar/entregar los documentos que se refieren a las actividades a.1, a.2 y a.3.

### (b) Prueba global de evaluación

Los estudiantes que no hayan seguido la asignatura de forma presencial, y los que aun habiéndolo hecho así lo deseen, tendrán derecho a una prueba global de evaluación (duración estimada en 4-5 horas) que comprenderá:

- 1) una *prueba escrita*, similar a la indicada en el apartado anterior pero sobre el conjunto de la asignatura, y
- 2) una *prueba adicional*, en la que el estudiante deberá resolver varios ejercicios prácticos, similares a los realizados en el desarrollo presencial de la asignatura, con el único apoyo del material suministrado por el evaluador.

En este caso, los alumnos deberán indicar esta elección al profesor con una antelación mínima de una semana antes del desarrollo de la prueba en el periodo final de evaluación de la asignatura.

Criterios de evaluación

(a) Criterios en la modalidad de evaluación continua

#### (a.1) Requisitos generales para superar la asignatura

- 1º) Entregar los informes de prácticas solicitados.
- 2º) Asistir, salvo causa justificada, a las sesiones prácticas de campo y entregar la memoria de prácticas de campo.
- 3º) Entregar, presentar y defender el tema desarrollado.
- 4º) Superar cada una de las partes de las pruebas escritas parciales.

#### (a.2) Baremo de puntuación final en evaluación continua

## 26408 - Geología estructural

La evaluación final se hace teniendo en cuenta el siguiente baremo que indica la proporción relativa de las distintas actividades de evaluación en la calificación final:

- Informes de prácticas . . . . . 20 % (factor 0.2)
- Trabajo de campo . . . . . 5 % (factor 0.05)
- Desarrollo y presentación de un tema . . . . . 15 % (factor 0.15)
- Pruebas escritas parciales . . . . . 60 % (factor 0.6)

En la práctica supone multiplicar la calificación obtenida en cada actividad de evaluación (evaluadas de 0 a 10) por el factor indicado y sumar los resultados para obtener la calificación total.

Los criterios de evaluación serán los mismos en la segunda y sucesivas convocatorias, y asimismo para los alumnos que pudieran seguir la asignatura de forma no presencial.

### **(b) Criterios en la modalidad de evaluación global**

#### **(b.1) Baremo de puntuación de la prueba global de evaluación**

Del mismo modo, la evaluación final se hace teniendo en cuenta el siguiente baremo:

- 1) Prueba escrita: 50 %
- 2) Prueba adicional: 50 %

### **(c) Consideración final**

Teniendo en cuenta el elevado número de pruebas y actividades que son objeto de evaluación, la calificación numérica obtenida por los estudiantes que hayan superado la asignatura podrá ser corregida al alza. Dicha corrección no será arbitraria, y representará el mismo incremento porcentual.

## **4. Metodología, actividades de aprendizaje, programa y recursos**

### **4.1. Presentación metodológica general**

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

El programa de la asignatura no se considera como un fin en sí mismo, sino como un marco en el que se desarrolla el aprendizaje personal del estudiante, basado en una actitud activa y participativa. Los estudiantes disponen de apuntes y otros materiales y recursos bibliográficos que deben servir de base a su trabajo, y de referencias bibliográficas

## 26408 - Geología estructural

esenciales para ampliar información. Con ello, el tiempo que se destina a clases magistrales expositivas se reduce al máximo.

Se pone énfasis en el aprendizaje significativo y práctico más que en el aprendizaje memorístico. De ahí que se realicen y evalúen diversas actividades de aplicación y de investigación empírica, y que las pruebas escritas se realicen disponiendo del material de consulta que se desee.

Las sesiones prácticas se dedican, en su mayoría, a ejercicios de representación y análisis de estructuras tectónicas, bien manualmente o mediante ordenador. Dos de ellas son sesiones de laboratorio dedicadas al estudio de muestras de mano, de láminas delgadas y a modelización analógica de deformaciones.

Durante las prácticas de campo se observan estructuras sobre el terreno, se miden sus orientaciones, se analiza su geometría, relaciones espaciales y cronológicas, y se recoge toda la información en mapas, cortes, fotografías y anotaciones en el cuaderno de campo.

La tutoría académica se considera una actividad docente más, y se estimula su uso para que el estudiante pueda: (i) consultar al profesor dudas generales sobre los contenidos de la asignatura y las técnicas de trabajo; (ii) consultar dudas sobre ejercicios que hayan sido planteados expresamente para resolverse fuera del horario presencial; (iii) recibir orientación para la búsqueda de fuentes de información; (iv) tener un seguimiento del trabajo personal y de la elaboración de la memoria de campo.

Se pondrá a disposición del estudiante las presentaciones utilizadas en las clases teóricas y, el primer día de clase, se proporcionará toda la información general del curso, que incluye la programación de todas las clases teóricas, prácticas y de campo y de las actividades de la evaluación continua.

### 4.2. Actividades de aprendizaje

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

**Actividad 1:** Aprendizaje de los aspectos conceptuales, descriptivos y genéticos de las estructuras tectónicas, y de los principales métodos de estudio a nivel geométrico, cinemático y dinámico.

Metodología:

- **Clases magistrales participativas** (3 ECTS; 30 horas presenciales)
- **Seminarios:** estudio de casos sobre guión-cuestionario (0,5 ECTS; 5 horas presenciales).

**Actividad 2:** Aprendizaje de los procedimientos de observación y toma de datos estructurales en campo.

Metodología: **Prácticas de campo** (3 ECTS; 4,5 jornadas de campo).

**Actividad 3:** Aprendizaje de los procedimientos de observación de estructuras a escala de muestra de mano y a escala microscópica. Manejo de métodos de reconstrucción y análisis geométrico, cinemático y dinámico de estructuras.

Metodología: **Prácticas de gabinete, laboratorio y ordenador** (2,5 ECTS; 25 horas presenciales; 10 sesiones).

**Actividades en inglés**

Durante el desarrollo de la asignatura se plantea que el estudiante conozca y utilice los términos propios de Geología Estructural no sólo en español sino también en inglés. Con este objetivo además de ir introduciendo la terminología en las distintas actividades presenciales (fundamentalmente clases magistrales y prácticas de campo) algunas de las actividades anteriormente mencionadas se desarrollarán y trabajarán fundamentalmente con documentación en inglés. En conjunto, estas actividades suponen 1 ECTS. Asimismo, en las pruebas escritas se incluirán 1-2 preguntas en inglés.

**4.3. Programa****I. PROGRAMA DE CONTENIDOS TEÓRICOS****Parte 1ª: PRELIMINAR**

**1. Introducción.** La Geología Estructural, Tectónica y Tectónica Global: objetivos y métodos de trabajo; desarrollo histórico. El estudio de las estructuras de deformación a nivel geométrico, cinemático y dinámico.

**2. Sistemas de representación de estructuras tectónicas.** Mapas y cortes geológicos; bloques diagrama. Orientación de planos y líneas; dirección y buzamiento; buzamiento aparente; inmersión y cabeceo. Notas de campo (símbolos convencionales). Análisis de la orientación de planos y líneas: Fundamentos de proyección estereográfica y equiareal. Sistema de representación en planos acotados.

**3. Esfuerzo, deformación y comportamiento reológico.** Conceptos y parámetros de deformación y esfuerzo. Relaciones esfuerzo-deformación; ensayos de laboratorio (ensayos tensionales y de compresión). Ensayos de corta o larga (*creep*) duración. Comportamiento reológico en los ensayos de corta duración: límite elástico, resistencia máxima y esfuerzo de rotura y comportamientos elástico, plástico y viscoso. Comportamiento en ensayos de larga duración: *creep* primario, secundario y terciario. Analogías físicas y ecuaciones constituyentes de los distintos tipos de comportamientos elástico, viscoso (viscoelástico, elástico-viscoso), plástico ideal, elástico-plástico y comportamiento general de las rocas. Factores que condicionan el comportamiento reológico de las rocas: litología, temperatura, presión confinante, tiempo, magnitud del esfuerzo, tasa de deformación, presión de fluidos en los poros (presión efectiva). Clasificación de las rocas según su comportamiento reológico (frágil y dúctil, competente e incompetente). Comportamiento reológico con la profundidad: niveles estructurales.

**Parte 2ª: ESTRUCTURAS FRÁGILES (o DE DEFORMACIÓN DISCONTINUA)**

**4. Conceptos básicos de esfuerzos.** Esfuerzo como vector: componente normal y tangencial. Cálculos simples de esfuerzos. Esfuerzos debidos a fuerzas de contacto. Estado de esfuerzos en un punto. Tensor y elipsoide de esfuerzos (ejes principales de esfuerzos). Tipos de estados de esfuerzos. Resolviendo el estado de esfuerzos sobre un plano: Análisis de esfuerzos en dos dimensiones mediante el círculo de Mohr. Esfuerzo medio, esfuerzo desviatorio y esfuerzos diferencia. Campos y trayectorias de esfuerzos. El campo de esfuerzos litostático y el gradiente de esfuerzos litostático.

**5. Mecánica de la fracturación de las rocas.** Los modos de fracturación fundamentales (modos I, II y III). Introducción a la mecánica de rocas (ensayos de tracción y compresión). El criterio de fractura de Coulomb: línea de resistencia intrínseca; cohesión y ángulo de rozamiento interno. Envolvente de Mohr. Criterio de fractura de Griffith. Influencia de la presión de fluidos (criterio de fractura de von Mises). Deslizamiento sobre discontinuidades previas (deslizamiento friccional y ley de Byerlee). Clasificación de fracturas y el círculo de Mohr.

**6. Diaclasas y diaclasas híbridas de tensión y cizalla.** Definición. Geometría de las diaclasas: forma, apertura y superficie de la diaclasa. Ornamentaciones o marcas plumosas (origen, zona de espejo..., eje de la pluma, costillas, líneas de parada...). Propagación de las diaclasas: análisis fractográfico. Familias sistemáticas y no sistemáticas de diaclasas. Sistemas de diaclasas y estilos 'arquitectónicos' (Hancock, 1985). Espaciado de las diaclasas y relación espaciado/espesor de la capa. Continuidad lateral y vertical de las diaclasas: capa mecánica. Proceso de formación de las diaclasas: mecanismo de relleno secuencial. Criterios de cronología relativa entre diaclasas. Interpretación dinámica de las diaclasas y de diaclasas híbridas de tensión y cizalla (*joint spectra*): relación con los ejes de esfuerzos y su localización en el círculo de Mohr.

**7. Juntas estilolíticas y juntas de extensión.** Definición de juntas y picos estilolíticos. Geometrías de las superficies estilolíticas y de los estilolitos: estilolitos normales y oblicuos, juntas estratiformes y transversas. Génesis de las superficies estilolíticas: mecanismos de presión disolución. Estilolitos y estrías estilolíticas. Cuantificación del acortamiento. Relación de las juntas estilolíticas y estilolitos con los ejes de esfuerzos y el círculo de Mohr. Definición y características de las juntas y grietas de extensión. Geometría y tipos de relleno. Criterios para determinar la dirección de



## 26408 - Geología estructural

extensión (textura del relleno, geometría de las grietas, objetos desplazados,...). Relación con los ejes de esfuerzos: juntas de extensión puras y oblicuas. Grietas de extensión y el plegamiento. Relaciones entre las juntas estilolíticas y las juntas de extensión: implicaciones dinámicas.

**8. Fallas.** Definición de falla, zona de falla y zona de cizalla. Clasificación de las fallas basadas en aspectos geométricos: a) la disposición y geometría del plano de falla, b) el tipo de movimiento (rotacional, no rotacional). Elementos geométricos de las fallas (punto/línea de terminación y fallas ciegas, escarpe de falla, punto/línea de corte). El deslizamiento (*net slip*) de una falla y sus componentes. La separación (vertical, estratigráfica,...) de marcadores planares. Cinemática de las fallas y clasificación: fallas normales, inversas, de desgarre y rotacionales o en tijera. Nomenclatura de las fallas de deslizamiento oblicuo. Criterios para determinar la dirección, sentido y magnitud del desplazamiento a partir a) de la superficie del plano de falla (estriaciones, escalones estilolíticos o de recristalización...), b) de la información cartográfica (proyección ortográfica y estereográfica) y c) de estructuras relacionadas cinemáticamente (pliegues de arrastre). Fallas contraccionales y extensionales y su representación en zonas con poca deformación. Sistemas de fallas: sistemas imbricados, horses y duplexes, fallas conjugadas, fallas mayores y menores, fallas sintéticas y antitéticas. Cinemática de las fallas conjugadas. Dinámica: modelo de fallas de Anderson: relación entre las fallas conjugadas y los ejes de esfuerzos. Reactivación de fallas y tectónica de inversión. Rocas de falla: frágiles (brechas; harinas de falla; cataclásitas, psudotaquilitas) y dúctiles (milonitas).

**9. Cabalgamientos y fallas inversas: tectónica compresiva.** Definición y características generales. Elementos geométricos y tipos de cabalgamientos (cabalgamientos, láminas y mantos de cabalgamiento). Tectónica de "piel fina" y de "piel gruesa". Cartografía de cabalgamientos (cabalgamiento principal, isleo tectónico y ventana y semiventana tectónica). Características geométricas de los cabalgamientos en escalera. Tipos de rampas (frontal, oblicua, lateral). Pliegues asociados: de acomodación, propagación y despegue. Sistemas de cabalgamientos: terminología (antepais, traspais, sistemas imbricados, duplex, retrocabalgamiento, apilamiento antiformal...). Zonas de relevo y fallas de transferencia. Cinemática de cabalgamientos: criterios para determinar la dirección de transporte y la edad de la estructura (cuencas de antepaís y de *piggy-back*). Depositos sintectónicos y estructuras sinsedimentarias. Geometría de los depósitos sintectónicos (onlap, offlap, engrosamiento de capas, discordancia sintectónica, discordancia progresiva). Secuencia de cabalgamientos (bloque inferior, bloque superior, fuera de secuencia). Restitución palinspástica y cálculo del acortamiento. El modelo de cuña orogénica. Ambiente tectónico.

**10. Fallas normales: tectónica extensional.** Definición y características generales. Elementos geométricos y principales geometrías de las fallas normales (fallas planas, lístricas y en escalera). Macro y mesoestructuras asociadas a fallas normales: anticlinales de roll-over, pliegues de acomodación de fallas y pliegues de arrastre. Sistemas de fallas normales: estructuras de horst y graben, semigrábenes, dúplex extensionales, fallas de despegue, abanicos lístricos, fallas sintéticas y antitéticas, fallas de relajación y de transferencia...). Modelos cinemáticos básicos de fallas normales. Secuencias de fallas normales. Sedimentación sintectónica en cuencas extensionales. Determinación del estiramiento causado por fallas normales. Campos de esfuerzos: extensión uniaxial, triaxial y multidireccional. Ambiente tectónico. Rifts: tipos; arquitectura general; rasgos evolutivos. Extensión tardía en orógenos.

**11. Fallas direccionales: tectónica de desgarre.** Definición y características generales. Elementos geométricos y patrones cinemáticos de fallas. Zonas de flexión de falla y de relevo compresivo y extensivo: geometría, terminología y estructuras menores asociadas. Transpresión y transtensión: estructuras en "flor positiva" y "flor negativa". Cuencas de *pull-apart* y *pop-ups*. Aspectos dinámicos: campos de esfuerzos de desgarre; perturbaciones de trayectorias. Ambiente tectónico: tectónica de desgarre en bordes de placa y en dominios intraplaca, fallas transformantes, tectónica de escape.

**12. Zonas de cizalla semifrágil.** Definición y características generales de las zonas de cizalla. Tipos de zonas de cizalla. Geometría de las ZCS y estructuras menores. Dirección y sentido de la cizalla. Modelización de una ZCS (El experimento de Riedel) y el desarrollo de fracturas de cizallas (R o Riedels, R' y P) y de tracción (T) menores y otros tipos de estructuras (S, pliegues, cabalgamientos,...). Deformación progresiva en las zonas de cizalla. Sistemas de ZCS. conjugadas.

### Parte 3ª: ESTRUCTURAS DE DEFORMACIÓN CONTINUA

**13. Conceptos básicos de deformación.** Definición y tipos de deformación. Clasificación de la deformación interna: homogénea/heterogénea, continua/discontinua, frágil/dúctil. Vector, trayectoria y campo de desplazamiento. Deformación finita, infinitesimal y progresiva. Medida y representación de la deformación: deformación de cuerpo rígido (traslación y rotación) y deformación no rígida (deformación longitudinal, deformación angular o de cizalla y dilatación). Deformación homogénea en dos y tres dimensiones: elipse y elipsoide de deformación y ejes principales de deformación. Tipos de elipsoides de deformación: el diagrama de Fliinn. Deformaciones especiales (coaxial/no coaxial, rotacional/no rotacional, cizalla simple y cizalla pura). Deformación progresiva y la longitud de las líneas deformadas: zonación de la elipse de deformación finita.



## 26408 - Geología estructural

**14. Mecanismos de deformación dúctil a escala textural.** Introducción y tipos de mecanismos de deformación dúctil (primarios, secundarios y otros mecanismos). Mecanismos primarios: de translación (maclación mecánica y deslizamiento intracristalino) y de difusión (creep de Nabarro-Herring, creep de Cobble u mecanismo de disolución-cristalización). Mecanismos secundarios: cataclasis y flujo cataclástico y el kinking (rotación mecánica). Otros mecanismos de deformación: Recuperación (*recovering*) y recristalización estática (annealing) o dinámica. Mecanismos de deformación y condiciones ambientales. Los mapas de deformación de minerales y principales condicionantes (tamaño de grano, presencia de agua).

**15. Fábricas tectónicas.** Introducción: concepto de fábrica. Clasificaciones de fábricas (primaria/secundaria, isotrópica/anisotrópica, mesoscópica/microscópica, cristalográfica, penetrativa/no penetrativa, dimensional). Tipos de fábricas dimensionales: planar (foliación), linear (lineación) y fábrica doble. Tectonitas (L, S, S-L, S-C). Fábricas tectónicas y su relación con el elipsoide de deformación. Foliaciones. Mecanismos de formación y tipos de foliación: discontinuas (espaciada, estilolítica, grosera, de crenulación) y continuas (pizarrosa o de flujo, esquistosidad s.s. y bandeado gneísico). Significado genético de la foliación (esquistosidad) y relación con el elipsoide de deformación. Lineaciones. Introducción y tipos de lineaciones: de intersección (entre  $S_0$  y  $S_1$ , entre dos  $S_1$  o estructuras en lápiz, y lineación de crenulación), de estiramiento de objetos pre-tectónicos (varillas) y lineaciones minerales. Mullions y boudinage. Significado de las lineaciones y su relación con el elipsoide de deformación.

**16. Pliegues: geometría.** Definición y ambiente tectónico. Interés científico y económico. Elementos físicos y geométricos (partes de un pliegue: punto/línea/zona de charnela, flancos, núcleo, puntos/líneas de inflexión, curvatura, superficie axial). Elementos de una superficie plegada (punto/linea de cresta y de surco, culminaciones y depresiones, etc). Tamaño de un pliegue aislado o un tren de pliegues. Descripción de pliegues: forma, apretamiento, tamaño y disposición. Clasificación de pliegues según a) la dirección de la concavidad/convexidad, b) la edad relativa de las rocas, c) la forma del pliegue (Hudleston, 1973), d) la forma del pliegue y la geometría de la superficie axial, e) la simetría (vergencia), f) la disposición del pliegue (diagrama de Fleuty), g) el apretamiento del pliegue, y h) los cambios en la longitud de onda y/o amplitud. Clasificación y diagrama de Ramsay. Terminación de los pliegues. Asociaciones de pliegues de gran escala (anticlinorio, sinclínorio, cinturones de pliegues, pliegues en relevo o escalonados....). Superposición de pliegues y patrones de interferencia. Estilos de plegamiento.

**17. Mecanismos de plegamiento y modelos cinemáticos.** Plegamiento activo y plegamiento pasivo. Clasificación genética de Donath y Parker (1964). Tres mecanismos y cinco modelos cinemáticos de plegamiento a escala meso- y macroscópica: Flexión (flexural-slip, flexural flow y plegamiento por pérdida de volumen), modificación de la forma del pliegue por aplastamiento homogéneo superpuesto y flujo (plegamiento por cizalla trasversal a las capas). 1) Mecanismo de flexión: bending, buckling y el tipo especial kinking. Deformación interna de las capas en el plegamiento flexural: deformación longitudinal en la charnela y deformación de cizalla (flexo-deslizamiento y flexo-fluencia) en los flancos. Pliegues por flujo flexural y pliegues por pérdida de volumen. 2) Mecanismo de aplastamiento: homogéneo e inhomogéneo. Foliación (esquistosidad) asociada al aplastamiento. Foliación de plano axial, refracción de la esquistosidad, abanicos de esquistosidad. Combinación de flexión y aplastamiento. 3) Mecanismo de flujo. Tipos de deformación por flujo. Pliegues de cizalla. Ambiente tectónico del plegamiento.

**18. Zonas de cizalla dúctil.** Características generales. Zonas de cizalla dúctil con marcadores pasivos previos; pliegues asociados. Fábricas de deformación interna en zonas de cizalla dúctiles (foliación, fábricas S-C...). Marcadores de la cizalla Zonas de cizalla conjugadas.

### Parte 4ª: OTRAS ESTRUCTURAS (a desarrollar en los trabajos de los estudiantes)

19. Estructuras salinas. Diapiros.

20. Estructuras gravitacionales: deslizamientos, slumps, olistolitos...

21. Estructuras de impacto. Meteoritos.

22. Superposición de estructuras (pliegues pasivos y flexurales y superposición de fracturas, foliaciones, lineaciones...) y la deformación polifásica.

## 26408 - Geología estructural

23. Tectónica de inversión de fallas: reactivación de fallas sinsedimentarias y la inversión positiva y negativa.
24. Estructuras tectónicas en cuerpos intrusivos (plutones) y enjambres de diques. Relación con el campo de esfuerzos regional.
25. Estructuras no tectónicas en Geología Estructural.

### II. SEMINARIOS

1. El dibujo de esquemas geológicos a partir de fotografías de afloramiento.
2. La toma de datos de orientación de líneas y planos con la brújula.
3. Ejercicios sobre esfuerzos y componentes del esfuerzo.
4. Análisis de esfuerzos con el círculo de Mohr en 2D.
5. Representación (y lectura) de líneas y planos sobre (a partir de) el mapa y proyección estereográfica.

### III. PROGRAMA DE PRÁCTICAS DE GABINETE, LABORATORIO y ORDENADOR

1. **Cortes geológicos (I)** realizados a partir de mapas geológicos con pliegues, fallas normales y discordancias.
2. **Cortes geológicos (II)** realizados a partir de mapas geológicos con pliegues, cabalgamientos y discordancias.
3. **Métodos de representación en 3D (I)**. Mapa de contornos estructurales y cálculo de saltos de falla. Historias geológicas de distintos cortes geológicos.
4. **Cortes geológicos (III)** realizados a partir de mapas geológicos de la serie MAGNA y/o con pliegues recumbentes.
5. **El experimento de Riedel**: estudio empírico del desarrollo de zonas de cizalla semifrágil.
6. **Proyección estereográfica (I)**. Representación manual, lectura y tratamiento básico de: Líneas y planos, polos de planos, buzamientos reales y aparentes, cabeceo de una línea, líneas contenidas en planos, intersección de planos.
7. **Proyección estereográfica (II)**. Ángulos entre líneas y planos. Proyección de líneas en planos, Ajustes de líneas y planos a círculos mayores y menores. Basculamientos y rotaciones.
8. **Fábricas tectónicas**. Observación y clasificación en muestras de mano (y lámina delgada); identificación de

## 26408 - Geología estructural

elementos de fábrica y relación con elipsoides de deformación. **Proyección ortográfica.** Sistema de representación de planos acotados. Buzamientos reales y aparentes; problema de los tres puntos. Intersección de planos.

**9. Proyección estereográfica (III).** Diagramas de densidad. Usar un diagrama de densidad para calcular el eje de un pliegue (análisis geométrico y cinemático básico de pliegues flexurales y rotaciones). Programas de ordenador: Representación y análisis automático de conjuntos de datos mediante aplicaciones informáticas, ajustes automáticos de conjuntos de líneas, cálculo de orientaciones medias.

**10. Proyección estereográfica (IV).** Análisis de la paleo-orientación de pliegues con foliación de plano axial y lineaciones asociadas situados debajo de una discordancia angular. Cálculo de la orientación de los principales ejes de esfuerzos a partir de estilolitos (picos de estilolíticos), juntas de extensión y sistemas conjugados de fallas.

### IV. PROGRAMA DE PRÁCTICAS DE CAMPO

#### Jornada 1

- Lugar: Corte del Embalse de Vadiello (Huesca); Mesozoico y Cenozoico.
- Actividades: Toma de datos de campo de orientación de las capas y observaciones de detalle de la estructura en una transversal a las Sierras Exteriores aragonesas por la carretera del Embalse de Vadiello y, partir de estos datos y de la cartografía, realización del corte geológico y su interpretación.

#### Jornada 2

- Lugar: Corte del Río Isuela (Huesca); Mesozoico y Cenozoico.
- Actividades: Reconocimiento de la estructura del frente surpirenaico. Observaciones a escala cartográfica y de afloramiento de estructuras de carácter frágil y dúctil y toma de datos estructurales. Relaciones tectónica-sedimentación en relación con pliegues.

#### Jornada 3

- Lugar: Aliaga (Teruel); Mesozoico y Cenozoico.
- Actividades: Estudio de la deformación polifásica. Estructuras de inversión positiva de una cuenca extensional. Reconstrucción geométrica y cinemática de pliegues superpuestos. Relaciones tectónica-sedimentación.

#### Jornada 4

- Lugar: Montalbán (Teruel); Mesozoico y Cenozoico.
- Actividades: Corte geológico a escala macroestructural de un sistema de cabalgamientos, pliegues asociados y relaciones tectónica-sedimentación. Estudio de estructuras discontinuas a escala de afloramiento (fallas, estilolitos, juntas de extensión): esquemas de campo, medición de orientaciones, análisis de relaciones cronológicas.

#### Jornada 5

- Lugar: Sierra de Algairén-Paniza (Zaragoza); Paleozoico.
- Actividades: Reconocimiento de un catálogo de estructuras comunes de deformación dúctil y frágil. Manejo de brújula y toma de datos estructurales en grupos de trabajo. Análisis de relaciones estratificación/foliación, medición de orientaciones, interpretación de mecanismos de plegamiento.

### 4.4. Planificación de las actividades de aprendizaje y calendario de fechas clave

Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Los 9 ECTS de esta asignatura de primer semestre conllevan 90 horas de actividades presenciales, que se distribuyen en:

- 30 horas de clases teóricas (3 h semanales).
- 5 horas de sesiones de seminario.

## 26408 - Geología estructural

- 25 horas de prácticas de gabinete, laboratorio y ordenador (1 sesión semanal de 2,5 h, 10 sesiones).
- 30 horas de prácticas de campo (4,5 jornadas).

### *Calendario:*

- Inicio y fin de clases: según calendario académico establecido por la Facultad de Ciencias y que se publica en la página Web de la Facultad. Las prácticas de gabinete empezarán la segunda semana.
  - Horarios de clases teóricas y prácticas: según horario establecido por la Facultad de Ciencias y que se publica en la página Web de la Facultad.
  - Fechas de prácticas de campo: según calendario establecido por la Comisión de Garantía de Calidad del Grado en Geología y que se publica en la página Web del Departamento de Ciencias de la Tierra.
  - Fechas de examen: según calendario establecido por la Facultad de Ciencias publicado en la página Web de la Facultad.
- 
- Las fechas de entrega de cuestionarios, prácticas, memorias de campo y trabajo individual se irán indicando a lo largo del curso.
  - Los horarios de tutoría se comunicaran por el profesor el primer día de clase.

### **4.5. Bibliografía y recursos recomendados**