

NUEVOS RETOS EN EL MARCO DEL EEES: LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN CIENCIAS DE LA TIERRA

Inmaculada Serrano^(1,2) y José Morales^(1,2)

¹ Instituto Andaluz de Geofísica, Campus Universitario de Cartuja s/n, Universidad de Granada. E-mail: inma@iag.ugr.es

² Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Facultad de Ciencias, Campus de Fuentenueva, Granada.

RESUMEN

En este trabajo se propone un sistema de directrices metodológicas para la enseñanza de las asignaturas de *Geofísica* del *Máster Oficial de Geofísica y Meteorología* de la UGR, haciendo uso de los créditos ECTS. Esta nueva metodología facilita la enseñanza multidisciplinar e interdisciplinar individualizando el proceso de aprendizaje, y brindándonos la oportunidad de “traducir” la enseñanza de la *Geofísica* a los alumnos de titulaciones tan diversas como: Licenciados en Ciencias, Titulados en Ingeniería Superior y Arquitectura. En este nuevo sistema el profesor deja de ser la fuente única de conocimiento para asumir un papel de guía de los alumnos, de gestor de recursos y de orientador, adaptándose a los nuevos perfiles multidisciplinarios mediante el uso de recursos y herramientas (TIC) necesarias para explorar y elaborar nuevos conocimientos. En las asignaturas de *Tomografía Sísmica* y *Sismología* son muy valiosas las animaciones, donde se reflejan la propagación de las ondas sísmicas a través del Interior de la Tierra. En las asignaturas relacionadas con *Riesgo Sísmico* son esenciales los simuladores, por ejemplo, para la creación de mapas de isosistas a partir de la generación de un terremoto. Las clases teórico-prácticas son participativas mediante la exposición de trabajos, previamente seleccionados entre profesor y alumno de acuerdo con su formación en grado, perfil e interés profesional. Las tutorías se desarrollan a nivel presencial y de forma electrónica mediante la utilización de un Blog. Las prácticas en estas asignaturas son imprescindibles, disponiendo el *Instituto Andaluz de Geofísica (UGR)* de la instrumentación necesaria para su realización. Posteriormente el alumno trabaja las lecturas obtenidas con el objetivo de realizar una primera modelización numérica e interpretación de los resultados.

INTRODUCCIÓN

El Máster Oficial de Geofísica y Meteorología iniciado en el curso 2006-2007 en la Universidad de Granada, tiene como objetivo proporcionar a los alumnos una formación básica y metodológica en Geofísica y Meteorología que les permita tanto su iniciación en la investigación, como su incorporación en empresas que requieran especialistas en diversos campos de aplicación de la Geofísica y de la Meteorología. La formación en estos campos, en los que se constata una enorme laguna formativa a nivel nacional, está dirigida tanto a investigadores como a técnicos que se dedicarán a desarrollar su labor profesional en campos como la prevención de incendios, la planificación agrícola, la gestión de aguas, los recursos energéticos, la prevención sísmica y volcánica y la aplicación de métodos geofísicos para la exploración geológica, arqueológica o a nivel de ingeniería del terreno, etc. Dichos objetivos hay que enmarcarlos dentro del proceso de cambio en el que está sumida la universidad española y cuya finalidad última es la

mejora de la calidad de la enseñanza dentro del proceso de construcción del Espacio Europeo de Educación Superior.

Al completar los 60 créditos ECTS necesarios para la obtención del Título de Máster el estudiante dispondrá de los conocimientos necesarios para aplicar, tanto en el campo de la investigación como en su desarrollo profesional: métodos matemáticos y numéricos avanzados en estas materias, técnicas y métodos experimentales, conocimiento de la instrumentación más puntera utilizada hoy en día en Geofísica y Meteorológica. Así mismo dispondrá de las habilidades necesarias para el desarrollo y aplicación de las teorías utilizadas en la investigación y para su aplicación a problemas reales.

Los objetivos últimos de este Máster son:

1. Capacitar al estudiante para realizar experimentos de forma independiente y describir, analizar y evaluar críticamente los datos obtenidos.
2. Identificar los elementos esenciales de un proceso o una situación compleja, y a partir de ellos construir un modelo simplificado y realizar predicciones sobre su evolución futura.
3. Idear la forma de comprobar la validez de un modelo físico e introducir las modificaciones necesarias cuando se observen discrepancias entre las predicciones del modelo y las observaciones.
4. Trabajar con otros investigadores en un contexto local, nacional o internacional.
5. Liderar y dirigir a otros investigadores.

Los estudios del Máster de la UGR van dirigidos a Licenciados en Ciencias (Física, Biología, Geología, Matemáticas, Química, Farmacia, Ambientales y Estadística), Titulados en Ingeniería Superior (Electrónica, Telecomunicaciones, Montes, Agrónomos, Caminos, Minas, etc) y Arquitectura. Como se puede comprobar la procedencia de los estudiantes es muy diversa, con lo cual es necesario el desarrollo de nuevos métodos pedagógicos que faciliten la enseñanza de las asignaturas, individualizando el proceso de aprendizaje y brindándonos a los profesores la oportunidad de ser capaces de traducir la enseñanza de la *Geofísica* a los alumnos de titulaciones tan diversas. Este objetivo a cumplir es un reto muy ambicioso y con resultados aún desconocidos en el marco de las universidades españolas.

LA GEOFÍSICA: DEFINICIÓN Y ORIGEN

La geofísica estudia los fenómenos físicos relacionados con la Tierra; aplica los principios y métodos de la Física para su investigación y sus propiedades. Su objeto como ciencia comprende un amplio rango de procesos que se producen tanto en el interior como en el exterior de nuestro planeta. La Geofísica puede definirse como la ciencia que estudia los campos físicos ligados a la Tierra. Estos campos tienen entre sí una relación, ya que los procesos físicos que tienen lugar en ella se ven influenciados a menudo por campos de diferente naturaleza. De ahí surgió la conveniencia de reunir en un cuerpo de ciencia común disciplinas que nacieron independientemente, como son la Gravimetría, el Geomagnetismo, la Sismología, etc., que tienen como nexo de unión el ocuparse de estudiar los campos terrestres sobre bases físico-matemáticas. El objetivo último de la Geofísica es determinar la manera en que los procesos naturales generan las características observables de la Tierra; es por tanto una ciencia natural en cuanto a su

fin, pero es una ciencia física y matemática por su planteamiento, método y formulación, análogamente a la Astrofísica y Meteorología, ciencias con las que guarda una estrecha relación.

La Geofísica tiene en común con otras ciencias (la Geografía, la Geodesia y especialmente la Geología) su objeto de estudio: la Tierra. Todas estas ciencias se agrupan bajo la denominación de Geociencias, pero se diferencian entre sí en que cada una tiene unos objetivos concretos y una metodología totalmente diferente.

La Geofísica es una ciencia dual, en el sentido de que es un campo frontera entre la Física y la Geología. Sus datos son el resultado de una variada gama de técnicas tanto de trabajos de campo como de laboratorio. Esta dualidad surge de la posibilidad de cuantificar los fenómenos instrumentalmente, proporcionando información de las perturbaciones no visibles pero latentes en la superficie terrestre. Las características ligadas a las variaciones espacio-temporales son constatables mediante métodos físicos, mientras que las ligadas a las perturbaciones visibles en superficie son observadas con técnicas más cercanas a la Geología. Es importante resaltar el papel de la Geología como limitadora de modelos propuestos sobre bases físicas, restringiendo el dominio de soluciones válidas de un determinado problema. La Geofísica nace pues de la Física y de la Geología y su origen fue el planteamiento de la macro-geología sobre bases experimentales. Es decir, la experimentación física, sujeta a condiciones fácilmente controlables en el laboratorio, cambió el tamaño de la muestra y de las condiciones externas. Por otra parte, el afán de cuantificar los procesos geológicos llevó a la Geología, primero al desarrollo de la Geología Física en el análisis de los problemas de pequeña escala, y posteriormente a la Geofísica cuando la Geología abarcó características globales o a gran escala.

Muchos de los contenidos científicos de la Geofísica son tan antiguos como la Ciencia misma. Esto es lógico ya que la Tierra ha constituido un magnífico laboratorio para la observación y creación de numerosas teorías científicas. Algunas disciplinas de la Geofísica extienden sus raíces hasta los primeros planteamientos científicos. Así, por ejemplo, en la determinación de la forma de la Tierra, las primeras hipótesis conocidas se remontan a Pitágoras, quien argumentaba que la Tierra era una esfera por analogía con la Luna, cuya observación mostraba que la distribución de la zona de transición de sombra mostraba que era un cuerpo esférico. Posteriormente, Aristóteles propuso la forma de la Tierra esférica a partir de la observación de los eclipses lunares, cuando la sombra de la Tierra se proyecta sobre la Luna, siendo la línea del cono de sombra curva.

MÁSTER DE GEOFÍSICA Y METEOROLOGÍA EN CRÉDITOS ECTS

La construcción de un Espacio Europeo común en la Educación Superior es un proyecto ambicioso que, aunque su concepción empieza a perfilarse años atrás, comienza a materializarse en hechos concretos al final de la década de los noventa, con la *Declaración de la Sorbona* y posteriormente en la *Convención de Lisboa*. Finalmente en la *Declaración de Bolonia* se establece un área europea de educación para promover el sistema europeo de educación superior, fijando entre otros los siguientes objetivos:

- Adopción de un sistema esencialmente basado en dos ciclos principales, pre-grado y grado. El primer ciclo será relevante para el mercado de trabajo europeo como un nivel apropiado de cualificación. El segundo ciclo conducirá al máster y/o al grado de doctor.

- Establecer un sistema de créditos ECTS como un medio adecuado para promover una mayor movilidad del estudiante.

Este programa de Máster que presentamos se ajusta a lo descrito en el Plan Estratégico de la Universidad de Granada (<http://www.ugr.es/~virepe/aprobado-plan-estrategico.htm>), cuyos objetivos básicos son:

- Mejora en la docencia y formación.
- Mejora en investigación, desarrollo e innovación.
- Adaptación y mejora del posgrado en un nuevo contexto normativo y competitivo.

El Máster objeto de este trabajo es el primer Máster Oficial de Geofísica y Meteorología en Andalucía adaptado al EEES. De acuerdo con la estructura de los estudios y la organización de las enseñanzas definidas en la memoria de la creación del Máster, el alumno deberá cursar un mínimo de dos asignaturas (12 créditos) del Módulo Común del Máster y otras dos (10 créditos) de uno de los módulos específicos (Geofísica o Meteorología, ver Anexo). Las Prácticas o Trabajos tutelados, contabilizarán hasta un máximo de 10 créditos. La Tesina de Máster contabilizará 18 créditos. El resto de los créditos a cursar es elegible entre todas las asignaturas hasta completar los 60 créditos. En la base de que 1 crédito ECTS equivale a 25 horas (debe de estar comprendido entre 25 y 30 horas), de la cuales 7 horas son de teoría/práctica y 18 horas corresponden a trabajo del alumno, serían necesarias 1080 horas de trabajo para completar el mínimo de 60 créditos ECTS para obtener el título de Máster. Para lograr este objetivo, la base conceptual de la enseñanza de la Geofísica y la Meteorología debe de cambiar radicalmente. Estos cambios se concretarían en:

- Las clases teóricas y esencialmente las de problemas deben ser totalmente interactivas por parte del alumnado. La participación del estudiante es indispensable para que parte de las horas lectivas se traduzcan en horas de trabajo. La participación y no sólo la asistencia sería el objeto de evaluación.

- Las clases prácticas y trabajos de campo adquirirían un nuevo perfil, diferenciándolas a priori de las actuales. El profesor sería el encargado, en primera instancia, de la explicación y metodología a utilizar. Sin embargo estas clases serían el motor conductor para el desarrollo de los distintos trabajos prácticos a desarrollar durante todo el periodo docente. Se prevé contar con la colaboración del personal técnico perteneciente a los distintos Institutos de Investigación que colaboran en el Máster. Asimismo al alumno, desde el primer momento, se le familiariza con la utilización de las nuevas tecnologías existentes en el mundo de la investigación y en el mercado laboral. Un ejemplo sería en la asignatura de “Análisis y tratamiento de datos en geofísica y meteorología” el uso de Internet para el acceso al *ISC (Internacional Seismological Center)*, con el objeto de adquirir datos sísmicos disponibles en dicho centro para posteriormente ser procesados con programas utilizados por la comunidad científica internacional (por ejemplo, el *Seisan*).

- Las tutorías presenciales y electrónicas desarrollan un papel indispensable en estas asignaturas de carácter esencialmente práctico, ya que aunque el alumno debe de desarrollar el trabajo de manera relativamente autónoma, es imprescindible el seguimiento por parte del profesor. Un ejemplo podría ser la obtención de anomalías sísmicas erróneas que a veces están determinadas por algún fallo instrumental. La

continuación del trabajo acumulando este tipo de errores pondría en riesgo la utilidad de todo el tiempo restante del alumno. Además la participación en foros sobre diferentes temas de actualidad en el campo de la Geofísica es de vital importancia a partir de las plataformas virtuales en uso.

- A lo largo del curso los alumnos desarrollarían los trabajos antes citados de manera individual o en grupo, con la asignación correspondiente en créditos ECTS. Esta asignación se realizaría estimando con anterioridad el trabajo en horas que necesitaría para su desarrollo. La asignación de los trabajos vendría dictada esencialmente por la formación en grado del alumno. Otro factor a destacar en universidades con gran presencia de alumnos extranjeros, como ocurre en la UGR, es su región de procedencia. La experiencia desarrollada este primer curso nos indica que, por ejemplo, los alumnos procedentes del Magreb muestran un mayor interés y entusiasmo si el trabajo realizado está relacionado con su región de origen. La posibilidad de disponer de bases de datos internacionales (ya sea de datos sísmicos, magnéticos, gravimétricos, etc) nos brinda esta excelente oportunidad. Otro factor importante es la actualidad de los temas seleccionados. Finalmente los trabajos serían expuestos en clase y estarían disponibles en la plataforma virtual de la asignatura. La diferencia con el método actual estriba fundamentalmente en la asignación de horas a dicho trabajo.

- La nota global de la asignatura tendría en cuenta el grado de madurez alcanzado por el alumno para el desarrollo de habilidades con las que “manejar” el mundo de la información en el que se desarrolla el Máster, el nivel con el cual el alumno ha desarrollado los trabajos realizados, su asistencia a clase y sobretodo su participación. La implantación de los créditos ECTS suponen un sistema de control del trabajo del estudiante donde las nuevas tecnologías de la información se manifiestan como imprescindibles.

Al finalizar el curso se elaborará un informe que contendrá la valoración del desarrollo del Máster así como la opinión de los estudiantes y profesores. El informe se hará público en la página Web del Centro coordinador de dicho Máster y en un acto de presentación que establecerá dicho Centro. Adicionalmente se organizarán sesiones de intercambio de experiencias entre titulaciones de la Universidad de Granada y con otras universidades.

LA EXPERIENCIA DE LA INTERDISCIPLINARIEDAD

Las Ciencias de la Tierra representan un campo del conocimiento ligado a lo que se presenta como un nuevo paradigma. De acuerdo con ello, las Ciencias de la Tierra nacerían de la confluencia de las inquietudes de geólogos, geofísicos, físicos de la atmósfera, meteorólogos, oceanógrafos y otros profesionales preocupados por el estudio y la comprensión de la estructura y el funcionamiento de la Tierra, como planeta en el que la materia adopta una serie de disposiciones variables en el tiempo. Esta visión nace de las nuevas formas de interpretar una Tierra dinámica, ligadas a la teoría de la Tectónica de Placas y los nuevos campos de investigación sobre las capas fluidas de nuestro planeta y el interior del mismo, capaces de construir modelizaciones globales y progresivamente más complejas y realistas.

La incorporación de nuevos conocimientos, la multiplicación y diversificación de nuevas disciplinas interconectadas se están desarrollando con una velocidad

extraordinaria, por lo que la creatividad del profesor y el alumno representan una herramienta esencial en el ámbito del desarrollo interdisciplinar. El profesional emergente de los nuevos másteres debe tener la disposición de trabajo en equipo, la solidaridad, el ánimo de colaboración, la visión y el cometido para abordar la realidad con una perspectiva amplia y a veces hasta tolerante con el resto de los profesionales.

En la mayoría de los países englobados en el Espacio Europeo de Educación Superior se manifiesta una tendencia clara a la creación de estudios interdisciplinarios de alto nivel. Dada la interdisciplinariedad de la ciencia moderna, se consiguen así titulados muy versátiles, capaces de adaptarse a las nuevas tecnologías y mercados cambiantes, y se mejoran los procesos de transferencia de tecnología. En muchos campos de las Ciencias de la Tierra se han popularizado recientemente una serie de conceptos físico-matemáticos (como es el caso de las modelizaciones a partir de datos de campo) hoy asociados con algunas de las líneas de investigación científica más punteras. En la actualidad la relación entre las diferentes disciplinas de las Ciencias de la Tierra está aportando importantes perspectivas y nuevas vías de futuro. La comprensión de la estructura de la Tierra, a través de su modelado numérico, es un reto fascinante y motivador en campos cercanos y de interesante evolución en áreas como el Medio Ambiente, la Geografía y la Ingeniería Civil. Uno de los propósitos de este Máster es potenciar y proporcionar los fundamentos necesarios que permitan conectar estas líneas de trabajo, creando las infraestructuras docentes que faciliten el aprendizaje en la resolución de problemas en estos ámbitos. Este Máster de Geofísica y Meteorología nace con el propósito de completar la formación de graduados e ingenieros de modo que presenten un perfil útil para muchas actividades, especialmente aquellas que requieren la mejor preparación.

Fundamentado en las ideas de interdisciplinariedad y calidad docente y científica, este Máster cuenta con la incorporación de profesores de prestigio, mediante un programa de movilidad docente, con los objetivos innovadores siguientes:

- Establecer nexos entre los contenidos de determinadas materias del Máster para que los alumnos perciban que su formación les dota de un perfil profesional coherente e integrador de conocimientos.
- Formar profesionales con enfoque multidisciplinario, capaces de abordar la realidad y poder proporcionar respuestas viables y confiables a una sociedad que las requiere.
- Un programa interdisciplinar y versátil que permita al alumno introducirse con garantías de éxito en la ciencia más vanguardista.
- Una formación continua a través de cursos especializados en temas concretos que posibiliten acercar a los estudiantes a los problemas más actuales y las técnicas más avanzadas.

El objetivo primordial del Máster es el de ser un lugar de encuentro de profesionales de formaciones diferentes y de estudiantes interesados en una formación científica multidisciplinar, de rigor y calidad, a la vez que ser foro de discusión y aprendizaje. Los cursos y seminarios deben nacer con un propósito de dinamismo y apertura que permita un intercambio y avance de las distintas ideas en los campos en los que se plantean. En este sentido es fundamental el concepto de movilidad y de formación interactiva tanto

entre los alumnos como en lo relativo a la participación de profesionales de reconocido prestigio internacional, que complementen y contrasten las diversas características de las universidades responsables.

TIC Y ENSEÑANZA PRÁCTICA DE LA GEOFÍSICA

Para la adhesión de la Universidad española al proceso de convergencia europeo en el marco del EEES es necesaria la incorporación en la metodología docente de las nuevas Tecnologías de Información y Comunicación (TIC). Asimismo, es imprescindible la actualización de los recursos tecnológicos destinados a facilitar la enseñanza y el aprendizaje de la Geofísica. Esta situación plantea la necesidad del acceso por parte del profesorado a los conocimientos más innovadores disponibles en el mercado. La sociedad española se encuentra en un momento crucial para el despegue en las aplicaciones de las nuevas tecnologías. Este hecho nos brinda la oportunidad de crear una Universidad flexible en sus procedimientos y estructura, con el objetivo de adaptarlos a modalidades de formación más acordes con las necesidades que esta nueva sociedad nos exige. Los profesores deben abandonar su tradicional papel de “oradores” alzados sobre un púlpito, y deben “salir” a la “calle”, al mundo de la empresa y de las nuevas tecnologías desarrolladas en sus respectivas áreas de conocimiento. Los docentes debemos ser capaces de dotar al alumno de las habilidades necesarias para manejar el nuevo universo de las comunicaciones e innovaciones tecnológicas sobre las que se desarrolla actualmente la sociedad española. Para alcanzar este objetivo, las instituciones deben proporcionar a alumnos y profesores los medios tecnológicos necesarios para el acceso a la infraestructura apropiada y para el desarrollo de metodologías para el aprovechamiento docente de las TIC. Sin embargo esta labor no es solo a nivel administrativo, es una labor de todos. Tanto profesores como alumnos debemos estar preparados para el gran reto en el que estamos ya inmersos: la renovación de la Universidad española para alcanzar el nivel de desarrollo y dinamismo en el que se encuentran muchas de las universidades europeas.

Por otra parte, el uso de las TIC en la docencia está introduciendo cambios en las formas en las que profesor y alumno se relacionan, así como en las funciones que deben desempeñar cada uno de ellos en este nuevo entorno. El papel de los profesores cambia en consonancia con el nuevo modelo de aprendizaje y las posibilidades de comunicación. El profesor pasa a ser la persona que conoce los recursos de los que dispone el entorno en el que se desarrolla la labor docente, así como debe ser capaz de mostrar a los alumnos como aprovechar la potencialidad de la información. El diseño de los contenidos de las asignaturas debe satisfacer las necesidades a las que se enfrentarán los estudiantes al finalizar su Máster, actualizando los conocimientos a medida que surjan nuevas demandas. Esto requiere que el profesor tenga un perfecto conocimiento de la bibliografía existente y esté familiarizado con técnicas de búsqueda de información en Internet, así como los últimos y más innovadores avances en el mundo de la tecnología.

La elaboración inicial del Máster de Geofísica y Meteorología se desarrolló en base a la consecución de los objetivos anteriormente citados. Aunque 2006-2007 ha sido el primer curso, creemos que en gran parte los objetivos han sido alcanzados. A continuación se presenta una reseña de las prácticas de dos asignaturas, así como el ejemplo de un trabajo asignado a un alumno.

Prácticas de la Asignatura de Teledetección, GPS y GIS

Uno de los aspectos más sobresalientes de la renovación de las enseñanzas en Ciencias de la Tierra es la incorporación de los nuevos *Sistemas de Información Geográfica (GIS)* aplicados tanto en la investigación como en la docencia. En el ámbito de la información geográfica ello es reflejo, además, de la potencialidad de estas tecnologías para el análisis espacial y de la necesidad creciente de su incorporación al diagnóstico y resolución de los problemas espaciales ligados a la ordenación y planificación territorial. En la actualidad, los *Sistemas de Información Geográfica* y la Teledetección son herramientas básicas para una óptima gestión del territorio. Los *GIS* facilitan la integración de informaciones territoriales y el análisis conjunto de variables de naturaleza diversa, así como su inclusión en modelos de gestión y simulación; toda una serie de técnicas anexas, como la cartografía y los *Sistemas de Posicionamiento Global (GPS)*, convergen en su desarrollo práctico. La Teledetección es, por otra parte, una técnica muy adecuada para el conocimiento y análisis de fenómenos con repercusión ambiental y territorial; su conexión con los *GIS* incrementa las posibilidades del análisis integrado que requiere la complejidad de los problemas territoriales. Al uso creciente de estas tecnologías por parte de los alumnos se suma la generalización y estandarización de los recursos informáticos en los que se sustenta, poniendo en manos de los estudiantes potentes herramientas de trabajo. La formación de especialistas en *GIS* responde a una demanda social y a la expansión creciente del mercado de la geoinformación, que requiere profesionales muy cualificados en los dominios de la tecnología relacionados con la información geográfica, como son los *GIS*, el tratamiento de imágenes de Teledetección, la creación y gestión de bases de datos de información espacial, la producción de cartografía en entorno digital y otras herramientas geomáticas. Para la realización de las prácticas y trabajos asignados a esta asignatura, además de los programas usuales utilizados para los *GIS* y Teledetección, se trabaja con una gran cantidad de servidores asociados a varias universidades españolas ("*GEOT*", "*Geoestadística, Teledetección y GIS*", "*LATUV*", "*Usuarios de IDRIS*", etc.), así como servidores de dominio internacional ("*Internet GIS and Remote Sensing Information Sites*", "*Great GIS Net Sites*", "*Digital Elevation Data Catalogue*", etc.). Es muy llamativo para los alumnos la posibilidad que ofrece el *Centre for Earth Observation* (<http://ewse.ceo.org>) de la Comunidad Europea de realizar "vuelos" con vistas en tres dimensiones sobre Europa o el mundo.

Por otra parte en geofísica de alta resolución es fundamental un sistema de coordenadas fiable que permita una alta precisión de las coordenadas. Igualmente es necesario realizar correcciones geométricas tanto en prospección sísmica, como en eléctrica y georrádar, a ser posible sin dependencia de un servicio externo de topografía. Para nuestras prácticas se dispone de un equipo *GPS* bifrecuencia capaz de funcionar en modo *RTK* (cinemático en tiempo real) modelo *Z-Max* de *Thales Navigation, Inc.* Compuesto por un equipo base con emisora de radio con 20 km de cobertura, un equipo móvil, libreta de campo con comunicación inalámbrica con los equipos, programas *GNSS Studio* y *Fast Survey* para el procesamiento de datos.

Prácticas de la Asignatura de Aplicaciones de la Geofísica

La mayoría de las prácticas de dicha asignatura y el desarrollo de los trabajos de los alumnos se realiza en el *Instituto Andaluz de Geofísica (UGR)* con el apoyo del personal docente y laboral del área de Prospección Geofísica. Dicho área trabaja en el

reconocimiento del subsuelo en general, mediante el empleo de métodos electromagnéticos, sísmicos de alta resolución, de prospección eléctrica y radar. Actualmente las actividades de dicho área se extienden a la Obra civil, Arqueología y Patrimonio, Recursos naturales, Medio ambiente, Geología e Ingeniería sísmica. Es vital el apoyo prestado por esta área para la realización de las prácticas de esta asignatura, así como para la realización del trabajo de los alumnos. A continuación enumeramos algunas de las prácticas que se han realizado en el curso académico 2006-2007:

El georrádar o rádar de subsuelo, es una técnica de prospección basada en la emisión de pulsos electromagnéticos y en la recogida de las reflexiones, que se producen por los cambios del valor de la constante dieléctrica del terreno asociada a los distintos materiales. Se consiguen profundidades de penetración de hasta 40 m (según los materiales atravesados) obteniéndose imágenes del subsuelo de alta resolución, lo que la hace especialmente apta para la delimitación de estructuras naturales o artificiales poco profundas (arqueología, tuberías y otras infraestructuras soterradas), detección de fluidos (agua o contaminantes), etc. El material de trabajo disponible es un Rádar de subsuelo *SIR 2000*, de *GSSI*, Antenas de 900 MHz, 400 MHz, 200 MHz, 100 MHz, Multifrecuencia de 15, 20, 35, 40 y 80 MHz, programas de tratamiento de datos y accesorios.

Los métodos sísmicos se basan en la detección del frente de ondas elásticas producidas por una fuente artificial (martillo, explosivo, etc.), propagadas a través del subsuelo que se investiga y detectadas en superficie mediante sensores (geófonos). Se obtiene una imagen del terreno en base a las propiedades elásticas de los materiales. Estas técnicas permiten obtener morfologías del subsuelo, estado de compactación y fracturación de los materiales, medición de parámetros para la ingeniería y geotécnica, etc. El material disponible es un Sismógrafo *STRATA-VIZOR NZ24* de *Geometrics*, un Conmutador de geófonos *Rollalong 96/24*, Geófonos: 48 verticales de 40 Hz, 24 verticales de 100 Hz, 24 horizontales de 10 Hz, 2 líneas de 24 tomas espaciadas 5 m, además de los programas de tratamiento de datos.

Los métodos magnéticos se basan en la detección de variaciones del campo magnético local debidas a la presencia de estructuras sub-superficiales. Las anomalías que se miden son debidas a la imanación inducida o remanente de los materiales. Esta técnica es especialmente útil para obtener información sobre estructuras arqueológicas que hayan estado sometidas a altas temperaturas y localización de cuerpos metálicos en general. Disponemos de un magnetómetro de protones *Geometrics* que puede actuar como gradiómetro, además de un magnetómetro de potasio *GEM GSMP40* para prospección de gradiente.

La prospección eléctrica en corriente continua es una técnica basada en un dispositivo tetraelectródico que inyecta corriente en el terreno y mide la diferencia de potencial que se genera. Los cambios de la resistividad calculados permiten modelizar la estructura del subsuelo. Se aplican métodos como el sondeo eléctrico vertical (SEV) para obtener imágenes profundas unidimensionales del terreno, y métodos de tomografía eléctrica que proporcionan perfiles bidimensionales. La profundidad máxima alcanzada con esta segunda metodología se sitúa en torno a los 50 m. El material disponible es un resistivímetro *ABEM TERRAMETER SAS 1000*, un conmutador de electrodos *ES 10-64*, 4 bobinas de cable multielectrodo, con separación de 5 m, 4 bobinas para SEVs, 72

electrodos de acero inoxidable, conectores y material auxiliar, programas utilitarios y de inversión.

Trabajo asignado a un alumno de la Asignatura de Tomografía Sísmica

Planteamiento teórico del trabajo: gran parte del conocimiento que poseemos de la estructura interna de la Tierra ha sido proporcionado mediante el análisis de las Ondas Sísmicas. Las estructuras de los materiales que conforman nuestro planeta son reflejadas en el campo de ondas que se propaga en su interior al ocurrir un terremoto o al generarse un campo de ondas mediante una fuente artificial. Las imágenes tridimensionales, obtenidas mediante la Tomografía Sísmica, han contribuido de forma espectacular a un mayor conocimiento de las propiedades y composición de los materiales que constituyen la corteza, manto y núcleo terrestres, así como a la determinación precisa de anomalías sísmicas ó discontinuidades a escala local y global. El objetivo de este trabajo es obtener anomalías corticales a escala local de la región de Al-Hucemas (norte de Marruecos), a partir de la llegada de las ondas sísmicas registradas en las estaciones situadas en el sur de España y norte de Marruecos.

Desarrollo y aplicación práctica del trabajo:

1. Asignación de la región de estudio en base al perfil del alumnado, teniendo en cuenta su formación en grado, su interés científico-profesional, y en este caso su región de procedencia. El perfil del alumno, en el ejemplo propuesto, es un graduado en geología por la Universidad de Tetuán (Marruecos), con especialización en asignaturas de geodinámica y geología regional; su región de procedencia es el norte de Marruecos, por lo cual se muestra mas receptivo a la información referente a esa región.
2. Recopilación de información geológica y geofísica de la región de estudio, en especial los artículos mas recientes publicados en revistas de difusión internacional. Se utilizarán los diversos servidores accesibles vía Universidad (por ejemplo *ISI Web of Knowledge*) o las bibliotecas de las diferentes facultades. El profesor será el encargado de orientar al alumno acerca de los servidores mas adecuados para la recopilación de esta información. En estos primeros pasos el apoyo del profesorado es de vital importancia para la selección adecuada de la bibliografía, aunque será tarea del estudiante la búsqueda, descarga y lectura del material.
3. Selección del área geográfica de estudio entre profesor y alumno en base a la información obtenida de la bibliografía. Se intentará centrar el área de interés en una región donde otro tipo de técnicas geofísicas (magnetometría, eléctrica, gravimetría, etc.) hayan dado como resultado algún comportamiento anómalo del material.
4. Utilización de distintos servidores para la descarga de las lecturas de los tiempos de llegada de los terremotos registrados en las estaciones sísmicas seleccionadas. Para ello el alumno debe familiarizarse con el uso de los servidores disponibles en el *International Seismological Center*, *Instituto Andaluz de Geofísica*, *Instituto Geográfico Nacional*, *USGS*, etc. La información en estos centros de investigación está disponible para todos los usuarios. Dependiendo del nivel alcanzado por el alumno en el manejo de las TIC, se le impulsará a profundizar

en el estudio mediante la utilización de programas de tratamiento de señales sísmicas (por ejemplo el *Seisan*). Las bases de datos utilizadas para las lecturas de las formas de onda procederán del *ISC (Incorporated Research Institutions for Seismology)*, *RSA (Red Sísmica de Andalucía)*, *RSN (Red sísmica Nacional)*, etc.

5. Una vez que el alumno posea una base de datos suficientemente amplia, dato que debe de ser evaluado por el profesor, procederá a la inversión de los tiempos de llegada con el diferente *software* disponible en el *Instituto Andaluz de Geofísica*, como son los programas desarrollados por *Zhao et al. (1992)*, *Hearn et al. (1984)*, etc.
6. Para la representación gráfica de las anomalías sísmicas obtenidas, se utilizarán diferentes programas, entre los cuales el mas utilizado es el *GMT (Generic Mapping Tools Graphics)*. Este programa es un conjunto de herramientas para el manejo de datos en coordenadas geográficas y cartesianas, generando ficheros *EPS* (postScript encapsulados). Es posible representar una cantidad ingente de datos en dos y tres dimensiones, con diferentes proyecciones. Su base de datos inicial nos proporciona líneas de costa, topografía, batimetría, límites políticos, etc.
7. Los resultados de las anomalías sísmicas representadas en un mapa se completarán con cortes en profundidad para obtener “imágenes” tridimensionales de la localización espacial de la anomalía.
8. Las imágenes sísmicas obtenidas deben correlacionarse con la distribución espacial de la sismicidad en la región. Las conclusiones iniciales serán discutidas entre profesor y alumno, intentando integrar nuestros resultados con los obtenidos a través de otras metodologías geofísicas. El resultado final será una interpretación de la estructura de la corteza terrestre y un planteamiento teórico del comportamiento geodinámico de la región, que englobe todas y cada una de las anomalías geofísicas obtenidas por el alumno y por otros investigadores.

Con este tipo de trabajos se pretende orientar al alumno a desarrollar sus destrezas y potencialidades cognitivas mediante las TIC, las cuales facilitan la flexibilidad de la acción formativa centrada en el estudiante y adaptada a sus peculiaridades y necesidades. El objetivo último de estas nuevas tecnologías y técnicas docentes es la mejora en la calidad de la enseñanza de la Universidad Española, tan necesaria en el proceso de convergencia hacia el EEES.

ANEXO: ESTRUCTURA CURRICULAR

MÓDULO	MATERIA	CRÉDITOS ECTS	HORAS DE APRENDIZAJE		
			TEORÍA	PRÁCTICAS	TRABAJO PERSONAL
MÓDULO METODOLÓGICO	ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE DATOS EN GEOFÍSICA Y METEOROLOGÍA	6	30	12	108
	RIESGOS SÍSMICOS, CLIMÁTICOS Y VOLCÁNICOS	6	30	12	108
	TELEDETECCIÓN, GPS Y GIS	6	30	12	108
	INSTRUMENTACIÓN EN GEOFÍSICA Y METEOROLOGÍA	6	30	12	108
GEOFÍSICA	GEOFÍSICA VOLCÁNICA Y FLUJO GEOTÉRMICO	5	25	10	90
	ONDAS SÍSMICAS Y ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA	5	25	10	90
	GRAVIMETRÍA Y GEOMAGNETISMO	5	25	10	90
	SISMOTECTÓNICA Y DINÁMICA TERRESTRE	5	25	10	90
	APLICACIONES DE LA GEOFÍSICA	5	25	10	90
	TOMOGRFÍA SÍSMICA	5	25	10	90
	MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y EFECTOS DE SITIO	5	25	10	90
METEOROLOGÍA	METEOROLOGÍA FÍSICA AVANZADA	5	25	10	90
	METEOROLOGÍA DINÁMICA Y PREDICCIÓN	5	25	10	90
	CLIMATOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO	5	25	10	90
	MICROMETEOROLOGÍA Y MICROCLIMATOLOGÍA	5	25	10	90
	TRANSFERENCIA RADIATIVA	5	25	10	90
	CLIMATOLOGÍA APLICADA AL DISEÑO ARQUITECTÓNICO Y A LA INGENIERÍA SOLAR	5	25	10	90
PRÁCTICAS EN EMPRESA	PRÁCTICAS EN EMPRESA	Máx. 10			250
TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	18			450
TOTAL		117	445	178	2302