

INTEGRACIÓN DE LA GEOMÁTICA EN LA FORMACIÓN DEL INGENIERO CIVIL

MENÉNDEZ-PIDAL DE NAVASCUÉS⁽¹⁾, Ignacio; MARCHAMALO SACRISTÁN, Miguel ⁽²⁾ y SANZ PÉREZ, Eugenio ⁽³⁾

- (1) DR. INGENIERO DE CAMINOS. U.D. Geología. Dpto. Ingeniería y Morfología del Terreno. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Prof. Aranguren s/n.- MADRID 28040. Tel. +34 913365153 email: impidal@caminos.upm.es
- (2) DR. INGENIERO DE MONTES. Laboratorio de Topografía y Geomática. Depto. Ingeniería y Morfología del Terreno. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Prof. Aranguren s/n.- MADRID 28040. Tel. +34 913366670 email: miguel.marchamalo@upm.es
- (3) DR. GEÓLOGO. U.D. Geología. Dpto. Ingeniería y Morfología del Terreno. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Madrid. Avda. Prof. Aranguren s/n.- MADRID 28040. Tel. +34 913365153 email: esanz@caminos.upm.es

Resumen

Tradicionalmente los planes de estudios de ingeniería civil implican la integración de diversas disciplinas formales en un nivel alto de conocimientos. Particularmente, la Ingeniería del Terreno, la Ordenación Territorial y el Medio Ambiente requieren sólidos conocimientos y habilidades en Geología aplicada, Geomorfología y Topografía. Estas disciplinas se han estudiado a fondo en los programas tradicionales de ingeniería civil, pero a menudo desconectadas entre ellas. Por otro lado, la Geomática es un campo emergente, como consecuencia de los avances en informática, comunicaciones y medición, así como en el campo de la de teledetección espacial y cuya formación es casi nula en dichos planes. El resultado es que el egresado en cualquiera de las ramas de ingeniería civil carece de aptitudes y competencias ante la solución de problemas basados en herramientas con un uso profundo de dichas técnicas geomáticas. Desde el Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, de la ETSICCP de la UPM, entendemos que debe continuarse con el esfuerzo en la integración de la geología, la geomorfología y la Geomática en ingeniería civil, apoyadas en los avances de tecnologías de la información. El trabajo presenta la experiencia y metodología propuesta en los dos últimos cursos, cuyos resultados son muy satisfactorios.

Palabras clave

Integración docente, geomática, ingeniería civil, EEES

1. La Ingeniería del Terreno en el currículo del ingeniero civil

La Ingeniería y Morfología del Terreno es una disciplina fundamental en la formación de los ingenieros civiles. Su docencia implica a las áreas de conocimiento de Ingeniería del Terreno, Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría y Expresión Gráfica en la Ingeniería. Esta influencia ha sido manifiesta durante los planes de estudio de la carrera de Ingenieros de Caminos durante años y se ha vuelto a poner de manifiesto con la aprobación de los nuevos planes del llamado proceso de Bolonia.

Este trabajo se basa en dos necesidades principales. Por un lado, la necesidad de integración de los conocimientos básicos y disciplinas que concurren en la Ingeniería del Terreno. Por otro lado, es necesario integrar los conocimientos del ingeniero civil a escala territorial, capacitando al egresado para la actividad profesional futura en dicho territorio. Ambas consideraciones llevan a la integración de geología aplicada, geomorfología aplicada y a la Geomática en los nuevos planes de estudios.

El Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, en la UPM, tiene a su cargo la enseñanza de estas disciplinas en las titulaciones de ingeniería civil, geológica y geodésica. Dicho Departamento coordina en la UPM las asignaturas de Expresión Gráfica, Topografía, Geología y Geotecnia, siguiendo un esquema conceptual de adquisición progresiva de capacidades y competencias.

2. La Geomática y las tecnologías de la información en la educación superior

La Geomática es un término científico actual que engloba las ciencias relativas a la producción, gestión y explotación de información geoespacial empleando medios automáticos o informáticos. Este término, acuñado por Bernard Dubuisson en 1969, integra actualmente disciplinas como la Teledetección, los Sistemas de Información Geográfica, los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS). Las tecnologías relacionadas con la adquisición y gestión eficiente de la información geográfica han experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, tanto en el mundo de la ingeniería como en muchos aspectos cotidianos de los ciudadanos. Un hecho relevante a considerar, es que al menos el 80 % de las decisiones públicas y privadas se basan en aspectos con algún componente espacial. Por esta razón, a menudo se habla de la información geográfica y la Cartografía como “la infraestructura de las infraestructuras”. Para satisfacer estas necesidades, todos los países llevan a cabo proyectos sistemáticos de representación cartográfica de sus territorios a distintas escalas y sobre múltiples fenómenos del medio ambiente y de la sociedad en general.

Muchos de los nuevos planes de estudio buscan dar una respuesta a algunos de estos retos que se plantean a la sociedad actual, tanto en el ámbito nacional, como en el ámbito internacional. Es evidente que el nacimiento de nuevos retos, expectativas y oportunidades, requiere la adaptación de las enseñanzas y los conocimientos que se han venido aplicando, por lo que es necesario el planteamiento de procesos educativos que den respuesta a dicha realidad, y es precisamente este hecho el que motiva la organización docente e investigadora de cualquier centro de formación superior a todos los niveles.

Para el ingeniero civil futuro será cada vez más necesario el alcanzar objetivos de conocimiento dentro del ámbito de la Geomática, así como discernir e iniciar andaduras en

diferentes líneas de investigación que pretenden potenciar las capacidades y competencias de los futuros egresados en aquellos aspectos en que realmente son de utilidad y en los que existe una demanda evidente.

En la actualidad, es esencial ofrecer formación en tecnologías de la información en la educación superior, pues los alumnos van a necesitarlas tanto en el curso de sus estudios universitarios, como muy especialmente, en su ejercicio profesional.

En efecto, las técnicas geomáticas aplicadas a la geofísica, las mediciones de precisión en la construcción y explotación de infraestructuras, la aplicación de sistemas de información geográfica a modelos hidrológicos, cualesquiera de las aplicaciones fotogramétricas de interpretación geológica, geomorfológica o hidrológica, los sistemas de posicionamiento global para obras de infraestructuras de explotación y construcción complejas o en zonas de actividad geológica extrema y riesgos naturales, las actuaciones derivadas de la ordenación territorial, medioambiental o hidrológica, suponen suficientes campos de actuación profesional actual y futura que hacen pensar sobre la conveniencia de la formación en Geomática del ingeniero civil.

Los aspectos anteriores forman parte de los trabajos y áreas profesionales del ingeniero civil cada vez con mayor relevancia. Cabe citar como ejemplos los recientes trabajos a escala nacional sobre el desarrollo del Sistema de Cartografía Nacional de Zonas Inundables donde se muestra por un lado la demanda creciente de técnicas geomáticas aplicadas, por otro la integración de éstas en la labor profesional del ingeniero civil y finalmente su íntima relación con la Geología y Geomorfología Aplicadas. En dichos trabajos el ingeniero civil debe tomar decisiones de alcance en todas las fases del mismo. Muy específicamente en la elección de los

sistemas geomáticos a aplicar, en la elaboración de los datos de partida, en la adaptación de dicha geomática a los modelos de simulación hidráulica, en los resultados obtenidos y sobre todo en la interpretación final de los mismos y la explotación de las bases de datos geográficas obtenidas junto a los modelos diseñados.

Al ingeniero que obviara estas decisiones o las dejara en manos de otros le supondría la pérdida de protagonismo y por tanto, ser relevado de los procesos de dirección. En cierta manera, esto está pasando ya pese al revestimiento de *trabajos en equipo* del que se abusa muchas veces.

A continuación se citan campos profesionales donde la Geomática suministra materia docente necesaria para el ingeniero en general y el civil en particular. Como queda dicho, especialmente relevantes son los que forman capacidades en el campo puramente civil y territorial y puede observarse que todos ellos conforman un campo de actuación profesional específico de los Ingenieros Técnicos Superiores de Topografía, Geodesia y Cartografía, y desde 2010 oficializado con el título Máster Universitario en Ingeniería Geodésica y Cartografía.

- 1) GEODESIA, MICROGEODESIA Y GEOFÍSICA: Proyecto, instrumentación, metodología, cálculo y compensación de redes geodésicas. Densificación de redes. Transformaciones de sistemas de referencia. Redes especiales para cartografía urbana, control de deformaciones y aplicaciones de precisión en la ingeniería civil. Levantamientos gravimétricos, prospecciones eléctricas y geomagnéticas
- 2) SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, INFORMÁTICA GRÁFICA, INFORMÁTICA APLICADA. SISTEMAS DE INFORMACIÓN APLICADOS: Lenguajes

informáticos, hardware y software aplicados a la Ingeniería Geodésica y Cartográfica. Integración de datos y su gestión en bases de datos geográficas y alfanuméricas. Enlace con sistemas gráficos, procesos de moldeo cartográficos y simulación. Sistemas de distribución de redes, etc.

3) **PRODUCCIÓN CARTOGRÁFICA AUTOMATIZADA, CARTOGRAFÍA ANALÍTICA:** Tecnología aplicada a los procesos cartográficos. La producción cartográfica. Precisiones. Control de calidad. Rentabilidad. Cartografía temática. Proyecciones cartográficas. Anamorfosis cartográficas y su influencia en las distintas aplicaciones.

4) **FOTOGRAMETRÍA ANALÍTICA Y DIGITAL. AÉREA, TERRESTRE, Y NO TOPOGRÁFICA:** Sistemas fotogramétricos orientados a la Cartografía automática y digital. Aerotriangulación. Tratamiento digital de Imágenes. Ortofotos. Bases cartográficas numéricas. Aplicaciones a la arquitectura, patrimonio histórico, industria, biología, hidrología, etc.

5) **TELEDETECCIÓN ESPACIAL:** Adquisición, tratamiento, análisis, almacenamiento y estudio sobre imágenes de satélites. Proyectos basados en Teledetección. Precisiones. Producción cartográfica a partir de imágenes espaciales. Teledetección por radar. Mosaicos.

6) **SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO (GPS):** Control y gestión de flotas, guiado de plataformas móviles y actualizaciones cartográficas mediante sistemas de posicionamiento global (GPS). Integración de datos de navegación en cartografía digital. Estudio de deformaciones. Control geodésico y topográfico. Aplicaciones a campos como geodinámica, geodesia física, tectónica de placas, etc.

7) **ORDENACIÓN DEL TERRITORIO Y GESTIÓN MEDIOAMBIENTAL:** Cartografía medioambiental. Biogeografía. Estudios medioambientales. Ordenación del territorio. Geografía general y aplicada. Previsión y cuantificación. Análisis territorial urbano. Planes

territoriales. Planeamiento urbanístico, transporte, hidrológicos, saneamiento, medioambiental, etc.

8) ANÁLISIS DE LA SIMBOLOGÍA Y LA REPRESENTACIÓN GRÁFICA: Estudio de la información a presentar o representar. Semiología. Características, propiedades, límites de los sistemas de representación gráfica. Generalización. Optimización en la representación de la información. Criterios y procesos para la transformación de la información numérica. Cartografía temática. Elaboración de Atlas.

9) METROLOGÍA: Calibración y métodos de medida. Instrumentación en metrología dimensional. Técnicas de precisión en aplicaciones industriales Incertidumbre, trazabilidad y planes de calibración. Modelado estadístico para instrumentación metrológica.

10) HIDROLOGÍA: Estudio y modelado de cauces fluviales. Simulaciones hidrológicas. Valoraciones mediante imágenes de satélites. Pérdidas. Cálculo de avenidas y aforos. Aplicaciones y desarrollos de Sistemas de información geográficas en hidrología.

11) INGENIERÍA CIVIL: Aspectos geomáticos de la Ingeniería Civil

3-. Espacio de Educación Superior, ¿oportunidades o debacle?

Con la entrada en vigor del espacio europeo de educación superior (EEES) surgen oportunidades para la reformulación y adaptación de los currícula profesionales a las demandas reales de la sociedad. Estas demandas son satisfechas en base a capacidades adquiridas durante el proceso de formación del alumno. A su vez estas capacidades son objetivos de aprendizaje en los planes de estudio.

Por tanto, los objetivos de la formación residen en la adquisición de capacidades por parte del estudiante, con mayor énfasis en la parte práctica y aplicada. Como otras muchas disciplinas

que conforman el perfil del ingeniero civil egresado, la Geomática y la Ingeniería del Terreno, son especialmente relevantes en su forma aplicada y es la práctica la que desarrolla muchas de las capacidades que se pretenden como objetivos docentes.

Algunas de las capacidades que debe adquirir el ingeniero civil son las siguientes, según la orden CIN/307/2009:

- Capacidad de visión espacial y conocimiento de las técnicas de representación gráfica, tanto por métodos tradicionales de geometría métrica y geometría descriptiva, como mediante las aplicaciones de diseño asistido por ordenador.
- Conocimientos básicos sobre el uso y programación de los ordenadores, sistemas operativos, bases de datos y programas informáticos con aplicación en ingeniería.
- Conocimientos básicos de geología y morfología del terreno y su aplicación en problemas relacionados con la ingeniería. Climatología
- Conocimiento de las técnicas topográficas imprescindibles para obtener mediciones, formar planos, establecer trazados, llevar al terreno geometrías definidas o controlar movimientos de estructuras u obras de tierra.

El espacio europeo de educación superior permite reformular los programas, introduciendo nuevas herramientas, como el trabajo cooperativo o trabajo en grupo, para lo cual existe un amplio rango de técnicas docentes (Valero y Calviño, 2010).

Entendemos que estos objetivos bien pudieran desarrollarse más en las siguientes metas:

- Formar al alumno en temas relacionados con la información geográfica.
- Dotar al alumno de los conocimientos y habilidades que le permitan dirigir, diseñar, desarrollar e interpretar determinados proyectos en donde la Geomática aplicada abarca las herramientas principales en la elaboración de modelos geográficos.
- Ofrecer soluciones ingenieriles a las problemas planteados por la demanda social en la gestión territorial (medioambiental, riesgos naturales, hidrología, ordenación del territorio, climatología aplicada al territorio, etc)
- Educar en el trabajo cooperativo del ámbito de la Geomática, ingeniería y ordenación territorial junto con otros ingenieros de avanzada formación geomática (ingenieros en topografía, geodesia y cartografía)
- Formar al alumno con conocimientos y razonamientos suficientemente profundos y avanzados en el ámbito específico de la Geomática, que le permitan aplicarlos en investigación.

4-. Experiencia docente en la integración de la Geomática en la formación de alumnos de la titulación de Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Con las características descritas anteriormente y bajo dichas premisas se diseñó un módulo docente voluntario. A partir del curso 2008-09 se inició su oferta. Sus objetivos docentes son los descritos como metas en el punto anterior.

Dada la voluntariedad del módulo su metodología docente se basa en la realización de prácticas de cortes geológicos, manejo de cartografía geológica aplicada y en la interpretación

geológica con medios y herramientas propias de la Geomática adquiridos previamente los conocimientos suficientes durante el tercer curso del título de Ingeniero de Caminos.

Para ello la Unidad Docente de Topografía dispuso de dos aulas con ordenadores con treinta puestos dobles y el software necesario para este módulo. El módulo corresponde a 1 ECTS según el EEES. Análogamente la Unidad Docente de Geología dispuso del material cartográfico necesario y de las indicaciones de interpretación requeridas.

En cuanto a la planificación nominal de dicho módulo se dispuso del siguiente plan:

1. Formación previa en geología: los alumnos acceden a este módulo voluntario en el último trimestre del curso de geología, habiendo completado dos terceras partes del curso y habiendo adquirido los conocimientos necesarios para el mismo. Igualmente ya han desarrollado prácticas de cortes geológicos e interpretación geológica por medios tradicionales no geomáticos.
2. Formación previa en Topografía y Geomática: los alumnos que pueden optar a este módulo deben haber cursado el módulo optativo de Modelos Digitales del Terreno en ordenador (1 ECTS)
3. Conformación de grupos de trabajo teniendo en cuenta un máximo de 2 estudiantes.
4. Definición de la zona de estudio (1h). Para cada tema propuesto por el profesor se define un ámbito geográfico acorde en extensión y en información topográfica con el objeto del trabajo.
5. Métodos de búsqueda de información geoespacial y minería de datos (1 h clase, 3 h grupos en trabajo individual).

6. Integración de información geoespacial cuantitativa y cualitativa en software MDT (Civil 3D en plataforma Autodesk Map 2008) (1h)
7. Creación de las superficies correspondientes a la estructura geológica y creación digital de los afloramientos (2h)
8. Interpretación geológica con ayuda de todas las fuentes de información disponibles y las posibilidades de la Geomática (intersecciones, vistas, 3D, integración de ortoimagen, etc.) (1h clase, 3 h grupos en trabajo individual)
9. Realización de un ejercicio de aplicación en la zona de estudio (10h grupos en trabajo individual):
 - Analizar la viabilidad de dos trazados de obra lineal en función de la geología que atraviesan, realizar detalles en sección transversal y planta de las zonas más significativas
 - Localizar la ubicación idónea para una cerrada de presa en la zona de estudio en función de la geología, calcular la curva de llenado de la presa.
 - Calcular el volumen de acuífero en la zona de estudio
10. Preparación de la presentación en clase (2h grupos en trabajo individual)
11. Presentación final en clase (1 h)
12. Evaluación del trabajo de otro grupo según rúbrica preparada por el profesor (1 h)

Se ha publicado un libro de aprendizaje secuencial del software Civil 3D 2008 con el fin de que los alumnos puedan emplearlo en su aprendizaje y en la realización de este módulo formativo (Martínez Marín et al., 2009). Los alumnos tienen acceso a través de su correo institucional de la UPM a la descarga de las versiones en formación del software empleado en la Autodesk Student Community.

Se indican algunos de los títulos de trabajos realizados en el marco de esta iniciativa docente:

- *“Interpretación geológica de la rodilla asturiana con técnicas geoespaciales y aplicación a casos prácticos ingenieriles de localización de cerradas”* José Ángel Iglesias (2009)
- *“Interpretación geológica de la fracturación en varios puntos del Sistema Central. Aplicación al estudio de la ordenación regional y local del territorio”*. Tomás de Juan (2009)
- *“Curva de llenado de la presa de Maisa (Kenia)”* Guillermo de la Figuera (2010)

5-. Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, especialmente en cuanto a la adquisición de capacidades por parte de los futuros ingenieros. Cabe destacar también el elevado incremento de la motivación del alumno después de haber realizado el módulo y la adquisición del gusto en materia de Ingeniería y Morfología del Terreno.

Sin duda, el uso de técnicas geomáticas constituye un aliciente en el aprendizaje y conlleva una mayor capacidad de control y dominio de la geografía, geología, geomorfología y topografía del territorio. La toma de decisiones se facilita eliminando incertidumbres, minimizando costes y acortando los plazos, dado el carácter de simulación de los modelos geomáticos creados.

Se recogen algunas de las valoraciones realizadas por los alumnos en estos trabajos:

- “Esto nos ha lleva una representación más visual y más intuitiva, que nos aporta una mejor perspectiva de lo que realmente ocurre en la realidad.”
- “El trabajo también tiene por objetivo la realización de nuevos cortes geológicos, abriendo el abanico de ejercicios realizables para la docencia de esta asignatura.”

6-. Conclusiones

Como resumen de las ideas e innovaciones docentes llevadas a cabo en la Escuela de Caminos de Madrid, cabe destacar que:

- La integración de disciplinas en ingeniería puede abordarse en los nuevos planes de estudio integrando créditos prácticos de distintas materias.
- En la actualidad es esencial ofrecer formación en tecnologías de la información en la educación superior, pues los alumnos van a necesitarlas tanto en el curso de sus estudios universitarios, como muy especialmente, en su ejercicio profesional.
- La integración de materias como la geología y la Geomática es muy satisfactoria, pues permite un aprendizaje motivado, más intuitivo, visual y apoyado en los recursos de la sociedad de la información.
- Esta experiencia ha servido de base para la programación de las enseñanzas de Ingeniería del Terreno en los grados de ingeniero civil, geológico y geodésico adaptados al EEES en la UPM.

Bibliografía

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Topografía, Geodesia y Cartografía. 2011. Máster Universitario en Ingeniería Geodésica y Cartografía por la Universidad Politécnica de Madrid. Memoria del proyecto de título oficial. Madrid

Martínez-Marín R., Martínez, I., Marchamalo, M. 2009. Introducción a los Modelos Digitales del Terreno y al GIS vectorial. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Colección Escuelas. ISBN 8438002544. Madrid. 247 pp (Segunda edición adaptada a Civil 3D y Autodesk Map 2008)

Marchamalo, M., Menéndez Pidal, I., Sanz, E. y Martínez Marín, .R. 2010. Geología aplicada y geomática: experiencia docente de integración en el currículo del ingeniero civil. I Jornadas Sobre Innovación Docente y Adaptación al EEES en las Titulaciones Técnicas. Granada, 9 y 10 de septiembre de 2010.

Menéndez Pidal, I., Marchamalo, M., Sanz, E. y Martínez Marín, .R. Integration of Geology, Geomorphology and Geomatics in Civil Engineering Curricula in the framework information technology society. 2010. ICERI 2010 (International Conference of Education, Research and Innovation) Madrid, 15, 16 y 17 de Noviembre de 2010.

Ministerio de Ciencia e Innovación. 2009. ORDEN CIN/307/2009, de 9 de febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

Valero M, Calviño F. 2010. Cuaderno de Taller: Adaptación de asignaturas al EEES. Taller Adaptación de asignaturas al EEES. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. 116 pp.