

Trabajos Finales de Grado y Máster orientados a investigación como caso de éxito

Fernando Martínez-Plumed
VRAIN
Universitat Politècnica de València
fmartinez@dsic.upv.es

José Hernández-Orallo
VRAIN
Universitat Politècnica de València
jorallo@upv.es

Resumen

La realización de proyectos y trabajos académicos realizados al final de los estudios de grado y máster deben desafiar al estudiante a pensar de nuevas maneras, a aplicar sus conocimientos para explorar y resolver problemas, y a compartir ese pensamiento y esa nueva experiencia con sus compañeros. En este sentido, dotar de un carácter investigador e indagador a estos proyectos es fundamental, no sólo para quienes deciden seguir una carrera académica, sino también para los que eligen una trayectoria profesional para su futuro. En este contexto, este trabajo describe la metodología seguida por nuestro equipo de investigación para proponer y supervisar TFG/TFMs de carácter investigador de manera colaborativa y coordinada entre los integrantes del grupo. El objetivo principal es aumentar la excelencia y la calidad de los trabajos así como mejorar la motivación de nuestros estudiantes involucrándoles en los proyectos de investigación en los que participamos. Los datos obtenidos a través de encuestas realizadas a los alumnos así como el análisis de las calificaciones muestran que no solo los objetivos y competencias se han alcanzado, sino que también la motivación alcanza niveles elevados.

Abstract

The completion of academic projects and assignments at the end of Bachelor's and Master's degrees should challenge students to think in new ways, to apply their knowledge to explore and solve problems, and to share that thinking and new experience with their peers. In this sense, giving a research and inquiry character to these projects is essential, not only for those who decide to pursue an academic career, but also for those who choose a professional path for their future. In this context, this paper describes the methodology followed by our research team to propose and supervise TFG/TFMs of a research nature in a collaborative and coordinated manner among the members of the group.

The main objective is to increase the excellence and quality of the work as well as to improve the motivation of our students by involving them in the research projects in which we participate. The data obtained through student surveys and grade analysis show that not only have the objectives and competences been achieved, but also that motivation is high.

Palabras clave

Trabajos finales de Grado y Máster, competencias, investigación.

1. Introducción

Los proyectos y trabajos académicos que realizan los estudiantes al final de sus estudios de grado (TFG) y máster (TFM) son un tema de interés actual en el contexto de la educación superior. Muchos países recomiendan que todos los programas de grado deberían culminar en un proyecto de envergadura y utilizar al máximo las habilidades de investigación y comunicación aprendidas en los años anteriores. Encontramos claros ejemplos en EE.UU., con la comisión Boyer [36] o en Australasia [2]. En Europa, la remodelación del título de grado a través del Proceso de Bolonia [39], cuyo objetivo es garantizar la comparabilidad y compatibilidad de los estándares y la calidad de las titulaciones de educación superior en toda Europa, ha estimulado un replanteamiento sobre cómo y dónde garantizar un énfasis en la investigación en el plan de estudios. La declaración de la Conferencia de Ministros Europeos de Educación Superior [44], según la cual “la educación superior debe basarse en todos los niveles en la investigación más avanzada, fomentando así la innovación y la creatividad en la sociedad”, y la conferencia de seguimiento de 2012, que hizo hincapié en la “participación de los estudiantes en la investigación y el desarrollo” [13], alientan esta reflexión.

Es entonces oportuno reafirmar la importancia de estos trabajos y su orientación investigadora y replantear

su papel en los distintos planes de estudios, ya que el contexto de la educación superior está cambiando. Nuevos métodos de enseñanza activos, como la *gamificación* [34], el aprendizaje basado en proyectos y problemas [10], el *flipped learning* [4] o la adaptación de cursos MOOC [40] en la docencia online podrían llevar a que una mayor parte del contenido de las titulaciones se impartiera en línea, dejando a las universidades la posibilidad de añadir valor centrándose en actividades orientadas a los estudiantes en las que se necesite la enseñanza presencial, como los TFG/TFMs. Del mismo modo, es probable que el papel del TFG/TFMs como colofón de las titulaciones de grado y máster sea cada vez más importante como forma clave de fomentar los vínculos entre la enseñanza y la investigación.

Aunque la proporción de estudiantes de grado que acceden a títulos de investigación de posgrado como másteres y programas de doctorado ha disminuido en muchos países durante los últimos años [5, 45], para los estudiantes como futuros profesionales, es vital desarrollar la capacidad de investigar problemas, emitir juicios sobre la base de pruebas sólidas, tomar decisiones sobre una base racional y comprender lo que están haciendo y por qué. La investigación y la indagación no son sólo para quienes deciden seguir una carrera académica, son fundamentales en la vida profesional del siglo XXI [6].

En este sentido, en este artículo presentamos la metodología trabajo para la propuesta y coordinación de TFG/TFMs seguida el equipo de investigación DMIP en el *Valencian Research Institute for Artificial Intelligence* de la Universitat Politècnica de València (UPV). El interés de los estudiantes en conocer y participar de proyectos reales ha llevado a nuestro grupo de investigación a proponer trabajos finales orientados a las distintas líneas de investigación en los que están trabajando los profesores e investigadores del equipo. Describiremos aquí nuestra experiencia docente al utilizar los TFG/TFMs como herramienta para involucrar a los estudiantes en trabajos de investigación y como estos han derivado en su mayoría en premios y/o publicaciones de relevancia. Finalmente recopilamos nuestras conclusiones y la opinión de los estudiantes respecto a esta orientación para sus trabajos finales.

2. Trabajos Finales orientados a la investigación

Los proyectos y las disertaciones finales de grado y máster siempre se han considerado un medio eficaz para la formación en investigación y para fomentar un enfoque del aprendizaje basado en el descubrimiento [28]. Se consideran un medio apropiado para diversificar la evaluación, abordar la preocupación por promo-

ver las competencias y la empleabilidad, capacitar al alumno, motivar a los estudiantes, promover los vínculos entre la enseñanza y la investigación, y para detectar talentos, es decir, identificar posibles estudiantes o asistentes de investigación. Preparar a los estudiantes para que salgan al mundo real fuera de la universidad es una razón subyacente para crear experiencias transformadoras para los proyectos finales (ver, por ejemplo, [25, 38]). Todo esto puede conceptualizarse como una gran ocasión para el aprendizaje integrador y como una oportunidad para el desarrollo del aprendizaje independiente y autónomo en la propia disciplina o campo profesional. La idea es que los estudiantes sean aprendices activos, es decir, productores de su propio conocimiento en lugar de meros consumidores del conocimiento de otras personas [15].

Una de las formas más eficaces de vincular el “hacer” y el “pensar” es involucrar a los estudiantes en el aprendizaje basado en la investigación [20]. Este aprendizaje activo debe centrarse en la indagación sobre el terreno, en el estudio, en el laboratorio y en el aula, utilizando sitios reales, actividades relacionadas con la comunidad y con el empleador [19]. Más que “aprender haciendo”, este enfoque permite a los estudiantes construir una comprensión teórica a través de la reflexión sobre sus actividades. Además, Healey en [17] sugiere que es probable que los estudiantes universitarios obtengan el mayor beneficio de la investigación en términos de profundidad de aprendizaje y comprensión cuando participan activamente, en particular a través de diversas formas de aprendizaje basado en la investigación. Esta opinión no es nueva. Wilhelm von Humboldt [23] recomendó en la fundación de la Universidad de Berlín en 1810 que las universidades deberían tratar el aprendizaje como problemas aún no totalmente resueltos y, por tanto, siempre en modo de investigación. Estos argumentos llevaron a Healey y Jenkins [18] a proponer que los estudiantes en todas las instituciones de educación superior deberían experimentar el aprendizaje a través de, y sobre, la investigación y la indagación.

TFG y TFM son quizás los ejemplos más comunes de participación directa de los estudiantes universitarios en la investigación y la indagación dentro del plan de estudios (aunque no son más que un ejemplo de aprendizaje basado en la investigación [21]). Orientar este tipo de trabajos a la investigación ofrece a los estudiantes una importante oportunidad de demostrar sus competencias como estudiantes productores o académicos, contribuyendo a la mejora de la empleabilidad al ayudar a proporcionar muchas de las capacidades y habilidades necesarias para el mercado laboral [26], incluyendo aspectos como la comprensión crítica; el entendimiento acerca de la creación, avance y renovación del conocimiento; la comunicación y difusión eficaces

de los resultados; o la gestión eficaz del tiempo, los recursos, las operaciones y la información, entre otros.

La participación de los estudiantes en procesos de investigación, tanto de forma activa como de forma pasiva, implica una mejora del rendimiento académico de los estudiantes tanto en los conocimientos adquiridos como en las competencias evaluadas [29]. A su vez, estos trabajos ofrecen oportunidades para que investigadores y profesores vinculen sus intereses de investigación directamente con su enseñanza [22], estimulando el análisis crítico y la formación continuada de los estudiantes, y ampliando las posibilidades de difusión de la investigación llevada a cabo, estableciendo un nexo que hace que la investigación y la excelencia docente sean inseparables [7]. Dado que la investigación y la publicación de los resultados son procesos que se pueden considerar ligados íntimamente [1], hay muchos ejemplos de trabajos finales que conducen a la co-publicación de los resultados por parte de los estudiantes y sus supervisores.

Finalmente, cabe recalcar que en la literatura podemos encontrar experiencias satisfactorias en cuanto a la orientación de la docencia y de trabajos finales de grado y máster como iniciación para la investigación. Centrándonos en el área de la informática, García-Crespo [9], Onaindía et al., [37] y Gómez et al., [16] reflexionan sobre la mejora de la docencia mediante proyectos de investigación; García et al., [14] y Díaz-Agudo et al., [12], describen su experiencia docente al utilizar trabajos finales como herramienta para involucrar a los estudiantes en trabajos de investigación; finalmente Serrano-Guerrero et al., [42] resume algunos de los errores más comunes cometidos por los profesores que pretenden iniciar a sus estudiantes en tareas investigadoras a través de este tipo de trabajos finales.

3. Metodología de desarrollo de los Trabajos Finales

La mayoría de las titulaciones oficiales en nuestra universidad incluyen en su plan de estudios un TFG o TFM con una asignación menor de 30 ECTS. Esto es, inferior a la duración, en términos de ECTS, de un semestre académico. En estos casos, en la ubicación temporal en la que el estudiante debe elaborar su trabajo se solapa tal actividad con la docencia de otras asignaturas del mismo título y curso. Sin embargo, se suelen organizar las actividades docentes y de evaluación correspondientes a esas asignaturas en la primera parte del semestre, reservando en el final del semestre un período de tiempo adecuado a los ECTS asignados al TFG o TFM para que los estudiantes puedan concentrar su dedicación a la elaboración de dicho trabajo.

Cada año, los investigadores y profesores de nuestro

grupo de investigación se reúnen a principio de curso para identificar y plantear problemas de investigación ligados con las líneas de trabajo del grupo que pueden resultar relevantes e interesantes para los alumnos de grado y máster. Los rasgos esenciales o las características básicas que distinguen a este tipo de trabajos orientados a la investigación de otros tipos de TFG/TFM más profesionalistas se describen a continuación:

- Debe ser un trabajo extenso y abordar en profundidad una cuestión central o un tema del que los estudiantes se apropiarán.
- Debe estar basado en la investigación o en la indagación, donde el deseo de descubrir algo significativo sobre nuestra sociedad o entorno es fundamental.
- Debe ser relevante para una disciplina o adoptar un enfoque interdisciplinario.
- Deberá basarse en una serie de fuentes relevantes, analizándose libros de texto, artículos de revistas, encuestas, entrevistas, experimentos, etc.
- Debe estar contextualizado y hacer referencia a los contextos disciplinarios a los que contribuyen.
- Los autores deben adoptar una actitud cuestionadora respecto a las fuentes utilizadas.
- Debe quedar claro cuál es su contribución mostrando elementos de originalidad, innovación o creatividad.
- Debe tener una metodología sistemática y rigurosa y seguir un procedimiento definido y justificado.
- Debe llegar a conclusiones coherentes y, en su caso, tener un elemento de reflexión.
- Debe comunicar los resultados de la investigación de forma adecuada y eficaz para comunicar las ideas al público al que va dirigida.

Como ocurre con todas las caracterizaciones, no se puede esperar que todos los trabajos presenten todas las características; algunas son de aplicación general, pero otras son más relevantes para trabajos concretos.

En cuanto a los candidatos, los estudiantes que se interesan en nuestros trabajos suelen ser estudiantes que han cursado alguna de las asignaturas que impartimos en los cursos de los Grados o Máster relacionados con la informática y, principalmente, la Inteligencia Artificial o el Aprendizaje Automático. Estos cursos suelen tener una fuerte componente de evaluación por proyectos lo que ayuda a conocer la forma de trabajar y el rendimiento esperado de los estudiantes.

Una vez que los estudiantes comienzan sus trabajos finales, además de consensuar aspectos técnicos como el uso de sistemas de control de versionado de código/texto, se les proporciona una serie de documentos que tendrán que revisar para confeccionar el estado del arte, tal y como se recomienda en [42], así como enlaces a materiales de apoyo como tutoriales, cursos o bibliografía complementaria que les puedan ser de utilidad para el desarrollo del proyecto. En cuanto al esti-

lo de dirección de los proyectos[35], solemos tener una dirección centrada en la *gestión* del proyecto (donde el director debe asumir un gran compromiso al no ser un proyecto dirigido) y en el proceso de *desarrollo*, donde se pone más hincapié en aquellos aspectos relacionados con el avance del proyecto (e.g., planificación, conocimiento del problema, análisis del estado del arte, recogida de datos, modelado, experimentación, etc.) y menos con aquéllos que tienen que ver con el producto desarrollado. Esta última es la principal diferencia con la dirección de otros proyectos de carácter más finalista y orientados al desarrollo de productos donde se pueden aplicar metodologías de desarrollo más guiadas y sistemáticas como la descrita en [27]. A su vez, se proporciona de manera puntual soporte en temas tecnológicos, fundamentalmente relacionados con aquellos aspectos de implementación más novedosos y cercanos a la investigación. En temas especialmente complejos o novedosos, la dirección llevada a cabo es más *global*, donde el director se involucra casi por igual, y por encima de la media, en la mayoría de las fases de los trabajos finales.

Por otra parte, el aspecto más importante (y valorado por los estudiantes) del proceso de supervisión es la retroalimentación proporcionada por parte de los supervisores. La supervisión de estudiantes es, sin duda, una tarea muy exigente en la que el supervisor desempeña un papel fundamental en el apoyo a los estudiantes para que desarrollen su potencial y eleven su rendimiento [41]. Los mecanismos y estructuras de apoyo pueden adoptar muchas formas diferentes. En el equipo DMIP usamos numerosas formas de dar retroalimentación a los estudiantes, desde medios escrito (mediante correo o sistemas de colaboración en tiempo real como Overleaf¹ o Google Drive²) hasta seminarios o tutorías en grupo. Estas reuniones suelen centrarse principalmente en la gestión y en el proceso de desarrollo del trabajo, proporcionando de manera puntual soporte en temas tecnológicos. Normalmente, la supervisión se lleva a cabo mediante sesiones individuales, pero éstas pueden adaptarse en particular para tener en cuenta el aumento del número de estudiantes y/o interesados del grupo de investigación. Cada cierto tiempo (e.g. cuando se alcanzan ciertos hitos en el desarrollo de los trabajos) se realizan sesiones de presentación de los resultados parciales conseguidos, de modo que los estudiantes ejercitan su capacidad de comunicación oral. Los trabajos pueden enriquecerse de los comentarios de otros investigadores y profesores directores de otros trabajos que son miembros del equipo de investigación, con la posibilidad de surgir nuevas sinergias y colaboraciones futuras. De esta forma, aunque un profesor es el director y responsable de cada trabajo, todo el grupo de in-

vestigación conoce los detalles del proyecto y pueden surgir colaboraciones y variaciones de las propuestas originales.

El desarrollo final suele consistir en proyectos teóricos, de experimentación, de análisis y/o revisión crítica, de ciencia y sociedad, etc. que pueden incluir, dependiendo del tópico, un prototipo que ejemplifica los desarrollos llevados a cabo. Dada la carga docente necesaria para la mayoría de estos trabajos, estos suelen terminar cumpliendo con altos estándares de calidad. En estos casos, los estudiantes son invitados a realizar publicaciones científicas en coautoría con el fin de no solo conocer cómo funcionan los procesos de elaboración y publicación de artículos, sino también para proporcionar un reconocimiento público del estudiante como productor de la obra científica.

Finalmente, cabe recalcar que la elaboración de estos proyectos orientados a investigación suele conllevar ciertos riesgos que tenemos que tener en cuenta y que necesitan de una implicación mayor de los directores para evitar una situación de abandono por parte del alumno. Algunos ejemplos que hemos identificado a lo largo de los años incluyen: un excesivo énfasis en las tareas investigadoras y del análisis del estado del arte, olvidándose de la idea del trabajo final y eternizándose su desarrollo si no se acota de forma clara; la frustración de los alumnos, ya que la investigación conlleva un gran esfuerzo y tiempo, y no siempre da los resultados esperados; la apertura de nuevas líneas de investigación, donde los alumnos deben comenzar analizando el problema a resolver desde cero, sin la experiencia necesaria para discernir aspectos los aspectos relevantes de los irrelevantes; y, finalmente, la escritura de documentos técnicos (en inglés), requiriendo más tiempo para su elaboración por parte de los alumnos. Una correcta planificación de los objetivos del trabajo al inicio, una supervisión y evaluación constante del alumno, y un compromiso mayor por parte de los directores, permitirá evitar en gran parte estos problemas.

4. Líneas y trabajos de investigación

Nuestro equipo de investigación comenzó en 1997, y se consolidó como grupo en el año 2000. Es un equipo pequeño, y consta de 4 miembros permanentes, 2 post-docs y entre 4-6 estudiantes pre-doctorales. Con respecto a las líneas de investigación, el objetivo inicial en su creación fue la de extender la Programación Lógica Inductiva (ILP) [33] a otros lenguajes declarativos. Desde entonces, el grupo ha ido adquiriendo una visión más amplia del campo, explorando diferentes técnicas y aplicaciones, centrándose en la evaluación de siste-

¹<https://www.overleaf.com/>

²https://www.google.com/intl/es_es/drive/

mas de aprendizaje automático e inteligencia artificial, abarcando así muchas áreas del aprendizaje automático, la minería de datos y la (evaluación de la) inteligencia artificial. Los temas de investigación son extensos y permite realizar un número amplio y variado de TFG y TFMs cada año. En la siguiente sección describimos una selección ilustrativa de trabajos finales realizados en el seno del grupo, así como los premios y las publicaciones obtenidas.

4.1. Descripción de los trabajos dirigidos

Los TFG y TFMs que relacionamos a continuación son una muestra ilustrativa del potencial de los trabajos realizados durante los últimos 5 años. Los trabajos se articulan en torno a las líneas de investigación principales como el aprendizaje automático y la ciencia de datos, la comprensión de sistemas y modelos inteligentes y la evaluación de la IA.

4.1.1. Análisis del consumo de energía de la inferencia de la IA

El objetivo de este TFM fue analizar las tendencias en el consumo de computación y energía en la inferencia del aprendizaje profundo. Analizamos los costes de inferencia en multitud de aproximaciones, técnicas y otras innovaciones algorítmicas, así como sistemas de hardware de vanguardia en distintos periodos temporales. Los resultados pueden encontrarse en [11].

4.1.2. Dinámicas de las comunidades investigadoras en la IA

Este TFM proporciona una metodología innovadora para explorar las dinámicas de investigación en la IA y analizar el modo en que los diferentes participantes en pruebas de referencia experimentales (i.e., benchmarks, competiciones, retos, etc.), desde el mundo académico hasta los gigantes tecnológicos, se comportan y reaccionan en función de sus propios logros o de los de otros. Los resultados de este proyecto han sido publicados en [3, 30].

4.1.3. Enseñanza automática para el aprendizaje automático y humano

En este TFG se realiza una comparación entre el aprendizaje automático y el aprendizaje humano a partir de ejemplos generados con la enseñanza automática (Machine Teaching). Se realiza una comparación del proceso de aprendizaje desde ejemplos generados por Machine Teaching entre diferentes sistemas de aprendizaje como un sistema de programación funcional inductiva, modelos de lenguaje y humanos. Los resultados de este proyecto aparecen en [24].

4.1.4. Sistema de alertas tempranas anticorrupción en administraciones públicas

Este TFG tiene como objetivo detectar y prevenir las malas prácticas y el fraude en la administración pública. La principal contribución del proyecto es el desarrollo de una solución basada en el análisis de datos públicos para ayudar a las autoridades gestoras a aumentar la eficacia y la eficiencia a la hora de analizar los casos de fraude y corrupción. Este trabajo es parte de un proyecto de subvencionado por la Generalitat Valenciana que ha dado lugar a un prototipo inicial (SALER Analytics) probado con éxito por los órganos de gobierno de Valencia [31].

4.1.5. Algoritmos semi-supervisados para la categorización de artículos científicos

El objetivo de este TFM es resolver las restricciones de asignación y tamaño en las sesiones de prentación de trabajos en congresos científicos. Este problema se abordó con el desarrollo de dos aproximaciones de clustering semi-supervisado de documentos basado en su contenido que permitía incorporar las restricciones de tamaño en cada cluster. Los resultados de este proyecto han sido publicados en [43].

4.1.6. Previsiones de la contaminación atmosférica en núcleos urbanos

En este TFM se presenta una aproximación para la predicción e interpolación de la contaminación atmosférica urbana en tiempo real para la ciudad de Valencia en España. El trabajo compara varios modelos de regresión capaces de predecir los niveles de cuatro contaminantes diferentes considerando que la fuerza y dirección del viento es una característica clave en la propagación de los contaminantes por la ciudad. Los resultados de este trabajo pueden encontrarse en [8].

5. Evaluación de la metodología para TFG/TFMs

Para conocer mejor la percepción general y evaluar si la metodología seguida para la realización de TFG/TFMs ha motivado y el aprendizaje de los estudiantes y ha cubierto los objetivos y competencias planteadas, hemos elaborado un cuestionario para ser rellenado por los alumnos (de forma anónima). El cuestionario contiene una pregunta acerca de la inserción laboral o empleabilidad tras haber obtenido el grado/máster, y 20 preguntas basadas en escalas de valoración tipo Likert de 5 puntos (desde “Totalmente en desacuerdo” hasta “Totalmente de acuerdo”) estructuradas en cuatro apartados dependiendo de su cate-

rización: 1) características generales de TFG/TFG; 2) nivel de habilidades adquiridas por parte del estudiante; 3) resultados, interés y utilidad del TFG/TFM; y, 4) grado de implicación, organización y ayuda por parte del tutor. Los detalles de estas 20 preguntas pueden verse en el Cuadro 1.

Q	Pregunta	Respuesta
TIPO DE TFG/TFM		
1	Extensión del problema abordado (1 - Muy reducido ... 5 - Muy amplio)	(1-5)
2	Complejidad del TFG	(1-5)
3	Novedad del TFG	(1-5)
4	Necesidad de formación del alumno durante el TFG	(1-5)
HABILIDADES ADQUIRIDAS		
5	Autonomía	(1-5)
6	Organización del trabajo (hacer un plan, controlar su cumplimiento y reorganizarlo si es preciso)	(1-5)
7	Utilización de tecnologías y/o métodos o estrategias necesarios	(1-5)
8	Trabajo en equipo	(1-5)
9	Redacción de la memoria	(1-5)
10	Preparación y desarrollo de la defensa del TFG	(1-5)
RESULTADO OBTENIDO		
11	Grado de cumplimiento respecto al problema inicial propuesto	(1-5)
12	Satisfacción con el trabajo realizado	(1-5)
13	Utilidad práctica del resultado	(1-5)
14	Capacitación profesional adquirida haciendo el TFG	(1-5)
IMPLICACIÓN DEL TUTOR		
15	Aspectos "técnicos": elección de los métodos/estrategias/técnicas a seguir o emplear	(1-5)
16	Iniciar el TFG, concretar el tema, identificar tareas y orientar la defensa	(1-5)
17	Reuniones individuales y grupales (decidir la frecuencia, participantes, contenido y formato)	(1-5)
18	Revisión de documentos: memoria y presentación para la defensa	(1-5)
19	Globalmente, el tutor y el grupo de investigación se ha implicado en el TFG	(1-5)
20	Globalmente, la implicación de mi tutor coincide con la que a priori me hubiese gustado tener	(1-5)

Cuadro 1: Cuestionario de evaluación de la metodología docente.

La Figura 1 muestra los resultados de las preguntas tipo Likert de la encuesta por parte de 15 estudiantes que han trabajado con nosotros. Los estudiantes encuestados terminaron sus TFG/TFMs entre los años 2016 y 2021. Los trabajos abordan temáticas muy diversas (entre ellas, las mencionadas en la sección anterior), pero centradas en tres grandes ejes: la evaluación de sistemas inteligentes, el aprendizaje automático y su aplicación a problemas complejos, y la (automatización de la) ciencia de datos.

La revisión de los resultados arroja que, desde un punto de vista ocupacional, el 100 % de los estudiantes está trabajando actualmente y que el 25 % estudian o han estudiado un Doctorado. Si atendemos a la percepción de la complejidad y novedad del trabajo, vemos que más del 90 % lo considera un trabajo original, no trivial y de gran envergadura. Sólo un 20 % de los estudiantes no tuvo necesidades de formación extra durante la realización del mismo. Por otro lado, aunque una gran mayoría ha considerado la realización de estos trabajos como de gran utilidad en su proceso de

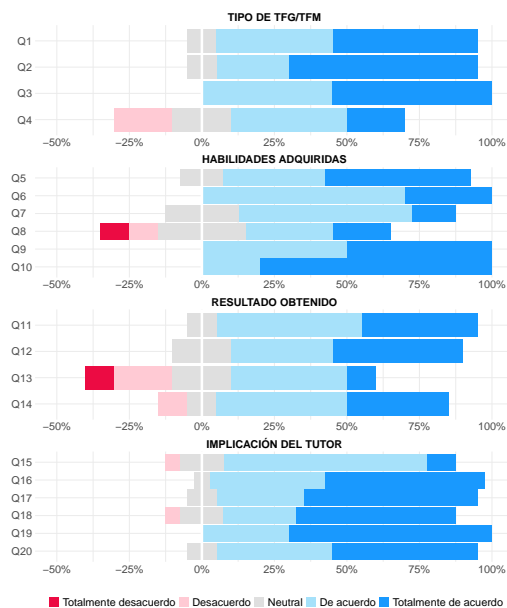


Figura 1: Resumen resultados de la encuesta en el Cuadro 1. 15 respuestas procesadas.

aprendizaje y de adquisición de habilidades y capacidades (más de un 90 % valoraron con un 4 o un 5 todas las preguntas a excepción de Q8), la habilidad de trabajo en equipo se ve menos valorada, posiblemente debido al carácter individual de los estos trabajos, fundamentalmente al principio de su desarrollo, y donde la colaboración con el resto del equipo de investigación (en aspectos distintos a la supervisión por parte de los directores) se reduce a las reuniones y sesiones de discusión y presentación de resultados (parciales y finales) donde el resto de miembros realizan comentarios y sugerencias en cuanto al desarrollo del mismo.

Con respecto a la percepción de los resultados, su valoración es siempre positiva. Sin embargo, la utilidad del mismo en los trabajos/estudios actuales de los estudiantes es donde se obtiene un mayor número de respuestas negativas (~30 %). Esto último puede ser debido a la madurez de los proyectos finales desarrollados por estos alumnos, encontrándose estos, normalmente, en un TRL entre 3 y 6 [32], lejos de productos listos para su utilización en el mercado. A su vez, el resultado en Q13 se puede analizar desagregando las respuestas por la situación laboral actual de los estudiantes. Aquellos que no siguieron su carrera investigadora y trabajan actualmente en la privada valoran de forma más negativa la utilidad práctica del trabajo realizado en comparación con los que se encuentran haciendo el doctorado. Finalmente, alrededor del 80-90 % valoraron con un 4 o un 5 su relación con el tutor y el grupo de investigación, confirmando la motivación que se consigue al implicar al estudiante con el DMIP.

Dado el carácter individual de la mayoría de los tra-

bajos, la colaboración con el resto del equipo de investigación (en aspectos distintos a la supervisión por parte de los directores) se reduce a las reuniones y sesiones de brainstorming y presentación de resultados (parciales y finales) donde el resto de miembros hacen comentarios y sugerencias en cuanto al desarrollo del mismo. Por su parte, el desarrollo del trabajo es (implementación, experimentación, análisis del estado del arte) se realiza de forma individual (no se contemplan trabajos en grupo en nuestra escuela) y de ahí, posiblemente, el resultado obtenido en la encuesta.

Por su parte, comentar que la tasa de éxito de los estudiantes que han realizado con nosotros estos de trabajos orientados a investigación es del 100 % y los datos de la evaluación por parte de los distintos tribunales de defensa de proyectos finales ha sido siempre de sobresaliente y/o matrícula de honor.

6. Conclusiones

En este artículo hemos planteado la importancia de que un proyecto de fin de grado y máster inspire y desafíe al estudiante a pensar de nuevas maneras, a aplicar sus conocimientos para explorar y resolver problemas, y a compartir ese pensamiento y esa nueva experiencia con sus compañeros. Para los estudiantes es importante desarrollar y mejorar sus capacidades de investigar nuevos problemas, emitir juicios sobre la base de pruebas sólidas, tomar decisiones de forma racional y comprender lo que están haciendo y por qué. En este sentido, la investigación y la indagación no son sólo para quienes deciden seguir una carrera académica, sino que es también fundamental para los que eligen una trayectoria profesional para su futuro.

En este contexto, hemos descrito la metodología seguida por nuestro equipo de investigación para proponer y supervisar TFG/TFMs de manera colaborativa y coordinada entre los integrantes del grupo con el objetivo principal de aumentar la excelencia y la calidad de los trabajos así como aumentar la motivación de nuestros estudiantes. Los trabajos propuestos se engloban dentro de las distintas líneas de investigación llevadas por los investigadores del grupo. Los estudiantes de estos proyectos son acogidos dentro del grupo animándoles a participar en las distintas actividades que se organizan (seminarios, charlas, tutoriales, etc.) y gracias a la implicación del resto de investigadores se producen sinergias y nuevas colaboraciones. Este hecho hace de estos trabajos finales una experiencia más rica en cuanto a los recursos y conocimientos adicionales de los que disponen nuestros estudiantes.

La encuesta realizada por los estudiantes demuestra, en general, un alto nivel de satisfacción y de interés por los trabajos realizados, así como la mejora de sus competencias y habilidades, destacando las de comu-

nicación oral y escrita, así como las relacionadas con la forma de gestionar el trabajo y resolver problemas. Destacar, finalmente, como la calidad de estos trabajos ha dado lugar a premios y publicaciones en congresos y revistas internacionales y varios de los estudiantes han continuado sus carrera investigadora.

Referencias

- [1] J. C. E. Alvarez and G. E. Jiménez. Investigar para publicar: una pregunta y una propuesta para la escritura de los docentes en la universidad. *Uni-pluriversidad*, 5(2):51–60, 2005.
- [2] J. Bailey, J. Fyffe, and E. Van Acker. *Capstone subjects in undergraduate business degrees: A good practice guide*. Griffith University, 2012.
- [3] P. Barredo, J. Hernández-Orallo, F. Martínez-Plumed, and S. h Éigeartaigh. The scientometrics of ai benchmarks: Unveiling the underlying mechanics of ai research. *EPAI*, 2020.
- [4] J. Bergmann and A. Sams. *Flipped learning: Gateway to student engagement*. Int. Society for Technology in Education, 2014.
- [5] H. R. Bourne. Point of view: A fair deal for phd students and postdocs. *Elife*, 2:e01139, 2013.
- [6] A. Brew. Research and teaching from the students' perspective. In *Int. policies and practices for academic enquiry: An international colloquium*, pages 19–21, 2007.
- [7] F. Chan Fong Yee. Reflections on teaching and research: Two inseparable components in higher education. *Teachers and Teaching*, 20(6):755–763, 2014.
- [8] L. Contreras and C. Ferri. Wind-sensitive interpolation of urban air pollution forecasts. *Proceedia Computer Science*, 80:313–323, 2016.
- [9] Á. G. Crespo. Mejora de la docencia mediante proyectos de investigación: Planificación estratégica de sistemas de información. *JENUI*, 98:113–120.
- [10] P. Dart, L. Johnston, and C. Schmidt. Enhancing project-based learning: Variations on mentoring. In *ASWEC*, pages 112–117. IEEE, 1996.
- [11] R. Desislavov, F. Martínez-Plumed, and J. Hernández-Orallo. Compute and energy consumption trends in deep learning inference. *arXiv preprint arXiv:2109.05472*, 2021.
- [12] B. Díaz-Agudo, J. A. Recio-García, and G. Jiménez-Díaz. Metodología docente para trabajos de fin de grado en grupos de investigación. *JENUI*, 2:221–228, 2017.
- [13] Eurydice and A. . C. E. Agency. *The european higher education area in 2012: Bologna process implantation report*. Ministerio de Educación, 2012.

- [14] J. M. García and M. E. Acacio. El proyecto de investigación: Un complemento eficaz en la docencia de arquitectura de computadores. *JENUI*, page 135, 2004.
- [15] G. Gibbs. Learning by doing: A guide to teaching and learning methods. *Further Education Unit*, 1988.
- [16] J. M. Gómez Hidalgo et al. Plenum: integración de la investigación en la docencia. *JENUI*, 2005.
- [17] M. Healey. Linking research and teaching to benefit student learning. *Journal of Geography in Higher Education*, 29(2):183–201, 2005.
- [18] M. Healey and A. Jenkins. *Developing undergraduate research and inquiry*. Higher Education Academy York, 2009.
- [19] M. Healey, M. Jenkins, and C. Roberts. Researching and evaluating active and inquiry-based learning in geography in higher education. In *CETLs*, 2005.
- [20] M. Healey, E. Pawson, and M. Solem. *Active learning and student engagement: International perspectives and practices in geography in higher education*. Routledge, 2013.
- [21] M. Healy. Linking research and teaching: exploring disciplinary spaces and the role of inquiry-based learning. *Reshaping the university*, pages 67–78, 2005.
- [22] J. Holgado Barroso. El trabajo de fin de grado, una oportunidad para la investigación universitaria. *Calidad de la Docencia Universitaria y Encuestas*, pages 235–240, 2016.
- [23] W. v. Humboldt. On the spirit and organisational framework of intellectual institutions in berlin. *Minerva*, 8(2):242–250, 1970.
- [24] G. Jaimovitch-Lopez, D. Castellano Falcón, C. Ferri, and J. Hernández-Orallo. Think big, teach small: Do language models distil occam’s razor? *NeurIPS*, 34, 2021.
- [25] J. Kinzie. Taking stock of capstones and integrative learning. *Peer review*, 15(4):27, 2013.
- [26] R. Land. Undergraduate research in scotland: an enhancement-led approach. *Council on undergraduate research quarterly.*, 33(4):35–41, 2013.
- [27] A. P. Márquez, J. M. Gil, and L. A. Rosado. Hacia una metodología para el desarrollo de trabajos y proyectos fin de carrera en ingeniería informática. *JENUI*, pages 15–17, 2007.
- [28] S. Marshall. Supervising projects and dissertations. In *A handbook for teaching and learning in higher education*, pages 168–183. 2008.
- [29] M. d. P. S. Martín, D. P. Ezama, and M. L. D. Jalón. El papel de la investigación como método para el desarrollo de conocimientos y competencias en el proceso de aprendizaje. *RUE: Revista universitaria europea*, (21):23–40, 2014.
- [30] F. Martínez-Plumed, P. Barredo, S. O. Heigeartaigh, and J. Hernández-Orallo. Research community dynamics behind popular AI benchmarks. *Nature Machine Intelligence*, 3(7):581–589, 2021.
- [31] F. Martínez-Plumed, J. C. Casamayor, C. Ferri, J. A. Gómez, and E. V. Vidal. Saler: a data science solution to detect and prevent corruption in public administration. In *ECML-KDD*, pages 103–117. Springer, 2018.
- [32] F. Martínez-Plumed, E. Gómez, and J. Hernández-Orallo. Futures of artificial intelligence through technology readiness levels. *Telematics and Informatics*, 58:101525, 2021.
- [33] S. Muggleton. *Inductive logic programming*. Number 38. Morgan Kaufmann, 1992.
- [34] S. O’Donovan, J. Gain, and P. Marais. A case study in the gamification of a university-level games development course. In *SAICSIT*, pages 242–251, 2013.
- [35] J. J. Olarte Larrea, F. J. García-Izquierdo, C. Domínguez Pérez, and A. Elizondo. Valoración de los estilos de dirección de proyectos fin de carrera en ingeniería informática. In *JENUI*, 2013.
- [36] B. C. on Educating Undergraduates in the Research University. *Reinventing undergraduate education: A blueprint for America’s research universities*. State University of New York, 1998.
- [37] E. Onaindía and L. Hernández. Docencia e investigación en inteligencia artificial en la universidad politécnica de valencia. *JENUI*, 98:340–346.
- [38] L. A. Paul. *Transformative experience*. OUP Oxford, 2014.
- [39] B. Process. European higher education area and Bologna process, 2018.
- [40] M. S. Roth. My modern experience teaching a mooc. *Chronicle of Higher Education*, 2013.
- [41] J. Rowley and F. Slack. What is the future for undergraduate dissertations? *Education+ Training*, 2004.
- [42] J. Serrano-Guerrero, F. P. Romero, and J. A. Olivás. El proyecto fin de carrera como medio conductor para la iniciación a la investigación. In *JENUI*, pages 543–546, 2010.
- [43] D. Vallejo-Huanga, P. Morillo, and C. Ferri. Semi-supervised clustering algorithms for grouping scientific articles. *Procedia Computer Science*, 108:325–334, 2017.
- [44] F. Van Vught. The eu innovation agenda: Challenges for european higher education and research. *Higher education management and policy*, 21(2):1–22, 2009.
- [45] C. Woolston. Phds: the tortuous truth. *Nature*, 2019.