

Experiencia en investigación



Andrés Ramos Galán

Profesor investigador de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI.

La investigación busca intencionadamente nuevo conocimiento, permite avanzar en las fronteras del mismo creando nuevas teorías o modificando las existentes. En el mundo de la Ingeniería la investigación es eminentemente aplicada (aunque no se puede descartar la investigación básica) y suele ir muy frecuentemente seguida por el desarrollo de productos y por la innovación (o aplicación de los avances teóricos como elemento de mejora de la productividad en las empresas o de su aplicación comercial).

Investigación: misión de la Universidad

La investigación constituye un pilar fundamental de las tareas de la Universidad. Según los Estatutos Generales [1] es misión de nuestra Universidad:

- La investigación científica autónoma, constantemente actualizada, en el ámbito de las ciencias que cultiva, desarrollada al servicio de todos los hombres, en diálogo entre las diversas disciplinas y dentro del respeto a la visión cristiana del hombre.
- La docencia crítica y creadora de los saberes que cultiva, según los métodos y exigencias propios de la enseñanza universitaria.

Como complemento, la docencia tiene como objetivo transmitir los conocimientos existentes y formar el sentido crítico de los alumnos en las diversas disciplinas del conocimiento.

De la misma manera que la formación de nuestros alumnos está muy orientada por la realidad de las empresas y, una vez egresados, se integran en ellas sin dificultad, una característica propia de la investigación hecha en la Escuela es su clara orientación al cliente. Casi toda la actividad de investigación que se realiza está solicitada por o relacionada con una institución pública o privada.

La Escuela es uno de los sitios donde una pequeña parte del colectivo de Ingenieros del ICAI desarrolla su actividad y en particular, realiza investigación.

Aparte del binomio ya mencionado de docencia e investigación, la Universidad tiene otra misión fundamental de difusión del conocimiento a la sociedad e interacción con la misma en sentido amplio.

En este artículo nos vamos a centrar en desgranar más los diferentes aspectos de la investigación dentro de la Escuela. Aunque a veces se utilice la palabra universidad, la visión se da desde la disciplina de la ingeniería, lo que puede ocasionar que ésta no sea directamente aplicable a otros ámbitos de conocimiento, como el derecho o las ciencias económicas.

Nuevo paradigma para la investigación

Recientemente una iniciativa del Ministerio de Educación, denominada Campus de Excelencia Internacional [2], promueve la regeneración de los campus universitarios y su transformación en elementos motores de mejora del sistema educativo universitario y de posicionamiento de las universidades españolas en el ámbito internacional. Esta iniciativa establece que el objetivo principal de las universidades, no deber ser sólo generar conocimiento para la sociedad, sino transformarlo como fuente de progreso económico, en competitividad y aumento de la innovación. Se habla de economía del conocimiento. Luego la investigación no debe ser sólo fuente de nuevo conocimiento sino procedimiento complementario de financiación de la universidad.

Aparte de promover la excelencia docente e investigadora, uno de los pilares fundamentales de estos campus de excelencia internacional, es la transferencia del conocimiento y tecnología como, resultado de la investigación académica al

sector empresarial mediante la colaboración Universidad-Empresa. Dentro de esa transferencia, uno de los mecanismos es licenciar la propiedad industrial de las universidades a través de *spin-off*, y la iniciativa de emprendedores del fomento de la participación de profesores en la creación y gestión de empresas. Como paradigma de éxito de una oficina de transferencia de resultados de investigación (OTRI) se puede mencionar la Stanford University Office of Technology Licensing (OTL). Ésta se caracteriza por su liberalidad en la transferencia y en los acuerdos de explotación con alumnos y profesores [3]. Como ejemplos de empresas creadas recientemente por alumnos de Stanford University se incluyen algunas como Yahoo y Google.

Organización

La investigación se realiza mediante la colaboración entre profesores/investigadores (PDI) y estudiantes de diversos niveles. Se organizan en grupos de investigación alrededor de una línea de trabajo mientras tienen un pequeño tamaño. La unión de grupos de investigación da lugar a institutos de investigación como forma de agruparlos para mejorar la gestión de recursos, la coordinación entre ellos y el aprovechamiento de sinergias en las actividades de investigación.

Los profesores/investigadores realizan la investigación como una tarea más dentro de su actividad profesional junto con la docencia.

Para poder realizar esta actividad se dispone de dos posibilidades:

- Proyectos de investigación financiados por la propia universidad.
- Proyectos de investigación financiados por instituciones públicas o privadas externas.

La financiación cubre principalmente el tiempo de dedicación para realizar la actividad así como los recursos materiales complementarios que puedan requerirse.

Como fuentes relevantes de financiación pública a nivel español se en-

cuentran el Plan Nacional de I+D+i o el programa estratégico Ingenio 2010, ambos del Ministerio de Ciencia y Educación. Dentro del Programa Ingenio aparecen las convocatorias del Programa CENIT, para aumentar la colaboración público-privada, el Programa CONSOLIDER, para aumentar la masa crítica y excelencia investigadora y el Plan AVANZ@ para converger con la UE en Sociedad de la Información. A nivel europeo se sitúan principalmente los Programas Marco.

Entre las fuentes de financiación privada más importantes se hallan, en el caso de ICAI, las principales empresas del sector eléctrico, con el que siempre ha

Aunque la recompensa de la investigación siempre se ha dicho que es la propia satisfacción personal y la libertad individual de acción y creación, de manera complementaria se pueden diseñar estímulos económicos o de promoción profesional que potencien los resultados de investigación, que pasamos a analizar a continuación.

Resultados

Los resultados de investigación son productos contrastables (sometidos a mecanismos de revisión) y medibles (artículos, patentes, etc.), difundidos de forma general o específica en ciertos entornos. La base de datos más utilizada internacionalmente es ISI Web of Science (WoS)

Los resultados de investigación son productos contrastables y medibles, difundidos de forma general o específica

existido una gran relación y destacada presencia de ingenieros de la Escuela.

Los estudiantes disponen, según el nivel en que se encuentran, de diversos modos para realizar investigación dentro de su formación en la Universidad: becas de colaboración¹ para estudiantes de grado, proyectos fin de carrera, tesis de máster o tesis de doctorado.

Aparte de la financiación correspondiente, la investigación necesita una dedicación concentrada e intensa en el tiempo por parte de miembros del grupo. No es una actividad que se pueda llevar a cabo con dedicaciones esporádicas.

Adicionalmente un entorno facilitador, que potencie la libertad de acción y de iniciativa, un ambiente de trabajo estimulante que favorezca la creación y disponer de medios materiales suficientes, son imprescindibles como medios para potenciar la investigación. Las empresas innovadoras persiguen crear o emular estos entornos de trabajo que favorezcan la creatividad.

que recoge los artículos de las revistas del Journal of Citation Report (JCR) (más de 8.000 revistas) producida por Thomson Scientific (<http://portal.isiknowledge.com/>). En España se utiliza el Índice Español de Ciencia y Tecnología (ICYT) (más de 400 revistas) producida por el CSIC (<http://www.cindoc.csic.es/servicios/dbinfo.htm>). Google tiene su propia indexación específica de documentos académicos (<http://scholar.google.es/>). De manera simplista se puede decir que no existe investigación si ésta no es visible.

Los resultados de investigación considerados sistemáticamente son:

- Publicaciones en revistas.
- Capítulos de libro, libros y comunicaciones en congresos².
- Tesis doctorales.
- Patentes y modelos de utilidad.

Los mecanismos habituales para obtener los resultados previos:

- Proyectos de investigación de concurrencia competitiva.
- Contratos³ de investigación.

⁽¹⁾ Se pueden considerar equivalentes a la realización de prácticas en la propia Universidad.

⁽²⁾ Estos documentos son indexados menos frecuentemente por lo que se tiende a darles menos importancia o incluso ignorarlos en las evaluaciones más generales.

⁽³⁾ La palabra proyectos se suele utilizar para aquéllos que se obtienen mediante concurrencia competitiva y la palabra contratos para los que son de asignación directa. En ambos casos su procedencia puede ser pública o privada.

La obtención de proyectos o contratos o el ratio de éxito de solicitados frente a conseguidos son, en sí mismas, medidas de resultados de investigación.

Para hacer un diagnóstico de la situación actual de la Escuela en publicaciones en revistas indexadas se ha realizado una búsqueda en la ISI Web of Knowledge en las bases de datos Science Citation Index Expanded y bases de datos químicas con el criterio OG=Comillas.

El número de publicaciones total es de 283. Como se puede observar en la gráfica, hay aproximadamente tres periodos diferenciados: antes de 1997, de 1998 a 2004 y después de 2005. En el primer periodo el número de publicaciones es muy bajo, una media aproximada de 3 artículos por año. En el segundo la media es de 13 artículos por año. Y en el tercero la media está por encima de 33 artículos al año. Por otra parte, en otro gráfico se puede observar el crecimiento exponencial de las citas por año.

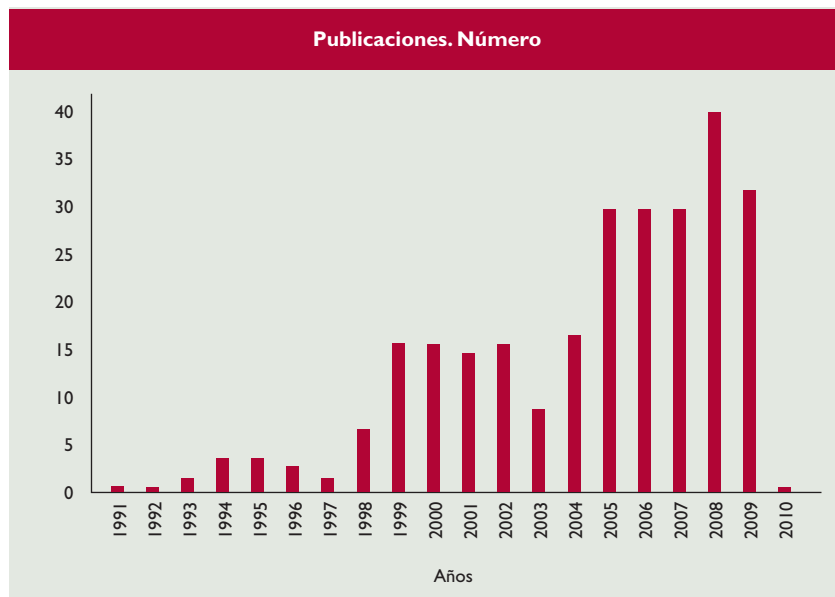
Un índice derivado de las publicaciones, que mide las veces que un artículo es citado en otros, es el denominado índice H^4 . La evolución de este índice H a lo largo del tiempo se muestra a continuación. Esto quiere decir que a día de hoy hay 21 artículos de la Escuela con al menos 21 citas.

El total de tesis doctorales defendidas a lo largo de los últimos cursos académicos es de 67, determinando una media de más de 7 por curso.

Como conclusión inmediata se puede decir que continúa el crecimiento del número de artículos publicados en revistas indexadas mientras que las solicitudes de patentes [4] se mantienen en niveles históricos muy bajos. La defensa de tesis doctorales ha mantenido una situación estable aunque con altibajos.

Clasificación de universidades

La utilización de los resultados de investigación y de los mecanismos para conseguirlos es habitual en la elaboración de clasificaciones de universidades desde el punto de vista de la investigación. Ésta es una actividad con una gran tradición en el entorno anglosajón que se empieza a manejar recientemente



en el contexto español. Esta razón justifica por sí sola la obtención y difusión de los resultados de investigación.

Las clasificaciones internacionales más populares (Shangai University y Times Education) no necesariamente reflejan los criterios más usuales en el ámbito español.

- Academic Ranking of World Universities publicado por la Shanghai Jiao Tong University (China). http://en.wikipedia.org/wiki/Academic_Ranking_of_World_Universities
- Times Higher Education-QS World University Rankings publicado por Times Higher Education and Quacquarelli Symonds.

Índice H			
	Antes 1997	1991-2004	1991-2009
Ítems	24	117	283
Citas medias por ítem	11,8	9,1	5,8
Índice H	8	18	21

http://en.wikipedia.org/wiki/Times_Higher_Education-QS_World_University_Rankings

Entre las nacionales estás las realizadas por el *SCImago Reserach Group*, formado por algunas universidades de España y una portuguesa [5] o recientemente

(4) Un científico tiene índice h si el h de todos sus trabajos recibe al menos h citas cada uno.

Tesis doctorales

Año	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004	2004-2005	2005-2006	2006-2007	2007-2008
Número	11	6	12	10	5	3	12	5	3

Patentes

Año	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
EPO (Europa)	-	1	1	-	-	-	-	-
OEPM (España)	1	1	-	1	-	1	-	-

Indicadores de clasificación de Universidades

Recursos financieros obtenidos para la investigación	Gasto en competitiva respecto al PDI-Doctor % ingresos que corresponden a investigación Financiación anual liquidada (I+D) respecto al PDI-Doctor
Resultados de investigación I: patentes y tesis doctorales por doctor	Patentes explotadas por cada 100 PDI total Solicitudes patentes europeas por cada 100 PDI total Tesis defendidas por Doctor Ingresos de patentes por cada 100 PDI total
Proyectos de I+D competitiva nivel de éxito de los estudiantes del doctorado	Proyectos solicitados respecto al PDI-Doctor Proyectos concedidos respecto del PDI-Doctor Número de Tesis/ matriculados en doctorado
Nivel académico de los investigadores	(Profesores propios/PDI) % de doctores respecto del PDI total
Resultados de investigación II: Publicaciones:	Publicaciones en revistas pertenecientes al JCR-ISI respecto al PDI-Doctor Publicaciones PDI-Doctor

por el Instituto de Análisis Industrial y Financiero de la Universidad Complutense de Madrid [6].

Los indicadores utilizados por el primer informe se centran alrededor exclusivamente de las publicaciones y miden, ver [6]:

- Citas por documento.
- Colaboración internacional.
- Importancia media de las revistas donde publica la institución.
- Ratio entre el impacto científico medio de una institución y el impacto medio mundial para cada área de conocimiento e intervalo temporal.

Los indicadores utilizados por el segundo informe recogen conceptos más amplios valorando específicamente: los resultados de investigación, los recursos financieros obtenidos para la investigación y el nivel académico de los investigadores.

Por último, lo mismo que en la actualidad una página web sólo tiene relevancia si es indexable y, por consiguiente, encontrable mediante buscadores, cada vez más la web es el punto de partida para la obtención de información como elemento para la toma de decisiones. El Laboratorio de Cibermetría del CSIC elabora un Ranking Mundial de Universidades en la web (http://www.webometrics.info/index_es.html) que evalúa su visibilidad nacional e internacional. Este Laboratorio específicamente recomienda que "Si el rendimiento web de una institución se encuentra por debajo de lo esperado de acuerdo a su excelencia académica, los dirigentes universitarios deberían reconsiderar su política web, promoviendo el incremento substancial del volumen y la calidad de sus publicaciones electrónicas".

Influencia en la empresa

Hay otro elemento que caracteriza a nuestra Escuela que no se pueden reflejar en los resultados previos, como es su influencia en la sociedad a través de la empresa. Recientemente se acaba de clausurar la celebración del centenario de la Escuela donde ésta ha podido demostrar su contribución al desarrollo socioeconómico del país. A menor escala el Instituto de Investigación Tecnológica, que ha celebrado los 25 años de su creación, ha sido creador de opinión y ha influido notablemente en el sector eléctrico español e incluso internacional. En este periodo ha sido un verdadero *think tank* proponiendo nuevos conceptos regulatorios, nuevos modelos para mercados de electricidad y más recientemente análisis técnicos para un desarrollo sostenible.

Adicionalmente la investigación genera servicios de alto valor añadido para las empresas

- Aplicaciones informáticas y modelos de ayuda a la decisión utilizados en el día a día por las empresas principalmente del sector eléctrico y ferroviario
- Actividades de consultoría y/o asesoramiento a las empresas

Por último, conviene mencionar la relevancia del factor humano. La Universidad es en sí una institución de paso para los alumnos. Numerosos investigadores desarrollan su actividad en ella, principalmente en forma de máster o doctorado, y luego se incorporan a la empresa. Los egresados conocen las líneas y el potencial investigador de la Universidad y, por consiguiente, realizan proyectos y contratos de investigación con su alma máter.

Herramientas de ayuda a la toma de decisiones

Actualmente tan importante es el desarrollo de productos como la toma de decisiones dentro de la empresa. Los ingenieros no sólo son líderes en la creación de productos

sino muchas veces responsables de las decisiones importantes de la empresa. Éstas muchas veces se pueden interpretar como un problema de asignación de recursos económicos, medioambientales y sociales, tanto en el corto como en el largo plazo. Los conceptos de eficiencia y de sostenibilidad son también incorporados en esta toma de decisiones. Formalmente, se trata de tomar la mejor decisión con los recursos disponibles. En este contexto las herramientas de planificación, predicción y presupuestación permiten tomar decisiones en

Quizá uno de los retos actuales de la sociedad y, por consiguiente, de la ingeniería es la búsqueda de la sostenibilidad. Se trata de un problema complejo donde se combinan recursos de diferentes tipos y que afectan a las decisiones de corto y largo plazo. Éste es un caso paradigmático para la aplicación de las técnicas de ingeniería del conocimiento, que deben aportar una visión general transversal del problema frente a otras disciplinas más específicas. Esto es reconocido cada vez más, tanto en el campo del desarrollo sostenible como en el de la ingeniería de la decisión. Así,

Actualmente tan importante es el desarrollo de productos como la toma de decisiones dentro de la empresa

situaciones o entornos complejos. Inteligencia analítica, métodos cuantitativos, técnicas de inteligencia artificial, análisis de datos, investigación operativa, ingeniería de la decisión son denominaciones que recogen estas herramientas.

La Escuela de ICAI, a través del IIT, tiene experiencia desde hace tiempo en la concepción y desarrollo de modelos de decisión en el ámbito de la planificación, operación y economía de sectores como el sector eléctrico o el ferroviario. Esta experiencia se complementa en la actualidad con la posibilidad de formación de postgrado en diferentes másteres universitarios en Sector Eléctrico (Erasmus Mundus), en Sistemas Ferroviarios y en Modelado de Sistemas de Ingeniería.

numerosas publicaciones plantean el logro del desarrollo sostenible como un problema de investigación operativa. Y por otra parte, desde el campo de la investigación operativa, cada vez se es más consciente del potencial de la disciplina para resolver problemas globales como el del desarrollo sostenible (como por ejemplo la iniciativa Doing good with good O.R. lanzada por INFORMS, o Green Manufacturing, Green Supply Chain, Green Energy con conferencias internacionales específicamente dedicadas a estos temas).

En los sistemas de energía, la sostenibilidad se ha traducido en la promoción de energías renovables, la eficiencia energética, o en procesos de extensión del suministro energético a los estratos más desfavorecidos, como

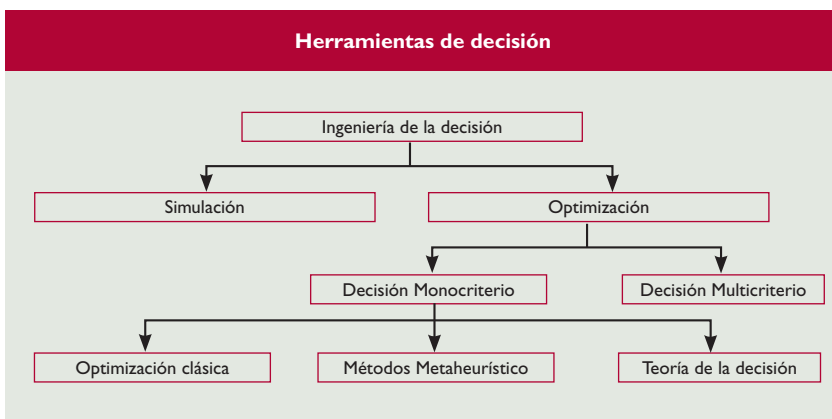
prácticas habituales para conseguir un desarrollo sostenible. Estas políticas han derivado en la práctica en la planificación integrada de los recursos incluyendo la consideración de las externalidades y la seguridad de suministro, en la operación del sistema de manera eficiente y con máxima integración de energías renovables, o en el diseño de programas de electrificación rural. Como curiosidad, uno de los primeros contratos de investigación del IIT en el año 1984 fue sobre "Análisis de la explotación de un sistema eléctrico con centrales solares y/o eólicas" para el Centro de Estudios de la Energía del Ministerio de Industria y Energía. Uno de los últimos ha sido "Modelado del impacto de la generación intermitente en la operación del sistema" para Red Eléctrica de España.

Ejemplos de herramientas de ayuda en la toma de decisiones para el sector eléctrico que han sido desarrolladas por el IIT incluyen:

- Modelado del sector eléctrico para análisis estratégicos de largo plazo.
- Modelos de planificación de la expansión de la generación y de la red de transporte para mercados eléctricos liberalizados que proponen o analizan decisiones óptimas para el largo plazo teniendo en cuenta la incertidumbre.
- Modelos de medio plazo de equilibrio de mercado que evalúan los comportamientos de los agentes del mercado.
- Modelos estocásticos de coordinación hidrotérmica que determinan en el medio plazo la gestión óptima de las centrales hidráulicas con aleatoriedad en las aportaciones.
- Modelos de corto plazo de programación diaria con énfasis en la caracterización de las energías renovables y el impacto de los vehículos eléctricos.
- Modelos de ayuda para la realización de ofertas o de gestión óptima de la energía eólica en el mercado de electricidad.

En sistemas ferroviarios los últimos desarrollos están orientados a la mejora de los costes de operación asociados al consumo eléctrico. Su reducción se consigue mediante:

- La explotación eficiente asociada a la selección de las marchas de regulación de los trenes.



- La creación de horarios eficientes mediante la sincronización de arranques y paradas y el uso del frenado regenerativo en trenes metropolitanos.
- La gestión de los tiempos de holgura entre estaciones en trenes de alta velocidad.

Otro ámbito clásico de la Ingeniería Industrial es la organización de la producción y cómo debe evolucionar en el futuro para ser sostenible. Una producción limpia no sólo implica reducción de costes sino mejora en la eficiencia de los procesos, promoción del desarrollo de nuevos productos innovadores que no deterioren el medio ambiente, y la gestión adecuada de la fuerza de trabajo. La implicación de los trabajadores en este proceso, desde el diseño del producto hasta el reciclado de materiales en su puesto de trabajo, se ha detectado como fundamental para conseguir éxito en el mismo. La sostenibilidad implica la gestión del ciclo completo de vida de un producto, incluyendo su posible reutilización, más que su simple producción.

Por último, en los sistemas logísticos cobran importancia las emisiones asociadas al transporte de productos, los sistemas de empaquetado mediante el uso de materiales reciclados y la denominada logística inversa o la cadena de suministro de bucle cerrado que gestiona también el retorno de los productos a dicha cadena. Un proyecto recientemente desarrollado ha consistido en la gestión integral de oferta y demanda de aparcamiento urbano con el consiguiente beneficio tanto para los usuarios como para el medio ambiente.

Futuro

Para finalizar me gustaría especular sobre el futuro de la investigación en ingeniería en la Universidad. El contexto actual, nacional y europeo, promueve la estructuración de la investigación alrededor de grandes consorcios formados por múltiples socios especializados. Se pide y se orienta a aprender a cooperar con diferentes universidades y empresas. Sin embargo, al mismo tiempo, hay cada vez más, competencia y de manera permanente entre universidades. Antes ésta era exclusivamente por el alumno, pero

en el futuro también será por los recursos de investigación públicos o privados. Las clasificaciones de universidades son una guía para la asignación de recursos institucionalmente y una información que puede influir en las decisiones de los futuros alumnos.

En el contexto actual, de una ligera disminución del alumnado, se debe potenciar la actividad de investigación sin perder la excelencia en la docencia,

En sectores como el de las energías renovables y el de transporte ferroviario, ICAI es líder

que siempre nos ha caracterizado. El colectivo de Ingenieros del ICAI puede ayudar en esta tarea de transformar una Escuela muy enfocada a la docencia en una que también realice investigación.

Por tamaño, tanto la Escuela como la Universidad son pequeñas. Esto les aporta flexibilidad para adaptarse a los cambios, aunque, al mismo tiempo, obliga a concentrar los esfuerzos de investigación en pocos campos de conocimiento para no dispersar recursos. Siguiendo la estela de España, que lidera mundialmente sectores como el de las energías renovables y el de transporte ferroviario, ICAI es líder en España en esos mismos sectores. Dispone no sólo de numerosos resultados de investigación, sino de aplicaciones informáticas y modelos de decisión, másteres de formación específicos en ambos sectores e, incluso, un doctorado internacional Erasmus Mundus en estrategias y tecnologías de energía sostenible. Los temas de actividad futura seguirán siendo: regulación, economía de la energía, operación eficiente, energías renovable y desarrollo de redes inteligentes.

Esto significa que los profesores/investigadores han sabido situarse y mantenerse en la cresta de la ola. Esto requiere una permanencia en la frontera del conocimiento y una mejora y adaptación continua de la estructura y metodología para llevar a cabo la investigación. Los profesores/

investigadores han tenido una contribución fundamental en este éxito, que se ha fundamentado en unos conocimientos sólidos, amplia experiencia y continuidad por parte de las personas en la investigación. Dando significado al lema de la Universidad, "El valor de la excelencia", ésta se fundamenta en la búsqueda y formación de los mejores estudiantes para participar en las actividades de investigación. Recien-

temente se ha producido un claro proceso de internacionalización de los investigadores. Por una parte, cada vez con más frecuencia alumnos extranjeros vienen a hacer investigación con nosotros y por otra, profesores/investigadores de la Escuela están haciendo numerosas estancias en universidades extranjeras.

Un análisis DAFO permitirá fijar objetivos estratégicos futuros en la investigación teniendo en cuenta nuestra actividad, tamaño y recursos. ■

Referencias

- [1] "Estatutos Generales de la Universidad Pontificia". Comillas 2009
- [2] <http://www.educacion.es/universidad2015/programas-estrategicos/campus.html>
- [3] D.A. Vise "The Google Story" Pan Macmillan Ltd. 2008
- [4] Instituto de Estudios Documentales sobre Ciencia y Tecnología (IEDCYT) Proyecto de obtención de indicadores de producción científica y tecnológica de la Comunidad de Madrid 2000-2007 (PIPICYT) 2009
http://www.madrimasd.org/Queesmadrimasd/indicadores/regionales/bibliometricos/documentos_pdf/PIPICYT_2000-2007.zip
- [5] http://www.ceia-ifac.es/boletines/boletines/index31_archivos/calidunivrsids0903CES-parts123.pdf
- [6] SClmago Reserach Group. SClmago Institutions Rankings (SIR): 2009 World Report. (<http://www.scimagoir.com/>)
- [6] M. Buesa y J. Heijs-. "La calidad de las universidades en España. Elaboración de un índice multidimensional" Minerva Ediciones 2009 ISBN 9788488123749 Informe original disponible en la web.