



Universidad de  
Oviedo

## **Lección inaugural acto de apertura de curso 2013-2014** **Don Alfonso Fernández Canteli**

### *Reflexiones desde una trayectoria universitaria dedicada a la Ingeniería, a un Campus y a una Escuela*

Excmo. Sr. Presidente del Principado de Asturias, Rector Magnífico, Autoridades, Sres. Vicerrectores, Profesores y colegas de la Universidad, Sras. y Sres.

Vaya por delante mi agradecimiento a nuestras autoridades académicas al ofrecerme la oportunidad de pronunciar esta Lección Inaugural para la apertura del Curso Académico 2013-14 por la distinción que ello representa y porque me permite exponer algunos aspectos relevantes sobre la docencia e investigación en Ingeniería y otras cuestiones de interés general.

En lugar de presentar un tema específico de investigación, como suele ser más habitual en estas ocasiones, cuya formulación teórica, basada en modelos matemáticos, no siempre resulta grata, he creído entender que, desde nuestra Escuela, se me encomendaba presentar la labor y dedicación no siempre reconocidas que desarrollamos los ingenieros tanto en la Universidad como en la sociedad y dejar patente la vocación universitaria de los profesores ingenieros, así como su servicio y compromiso con el progreso industrial, pareciéndome que era ésta una buena ocasión para aclarar algunos malentendidos seculares al respecto.

#### **1. Sobre Ciencia e Ingeniería**

La clarificación previa del concepto de Ingeniería y sus diferencias con el de Ciencia permite comprender nuestras específicas necesidades en relación con la formación, actividad profesional, docencia e investigación aplicada.

Ciencia implica más que adquisición de conocimiento y consiste en adquirir una comprensión más profunda y a menudo útil de entender el mundo y se puede definir como: *La observación sistemática y organizada de los sucesos naturales con el fin de descubrir hechos relativos a aquéllos y de formular leyes y principios basados en estos hechos, o también, el cuerpo de conocimiento organizado que se deriva de tales*



*observaciones y que puede ser verificado o ensayado mediante subsiguiente investigación.*

*Ingeniería, por su parte, es la conjunción de disciplina, arte, habilidad, profesión y tecnología, que consiste en adquirir y aplicar conocimientos científicos, matemáticos, económicos, sociales y prácticos con el fin de concebir, diseñar y construir modelos, estructuras, dispositivos, máquinas, aparatos, ingenios, sistemas, materiales, nuevos productos y procesos o una mejora de algo que ya existe. Aunque las soluciones en Ingeniería utilizan principios científicos, para materializar un invento el ingeniero tiene que convertir su idea a términos concretos y diseñar algo que la gente pueda usar. Para ello ha de tener en cuenta cuestiones tales como seguridad, eficiencia, economía, fiabilidad, viabilidad de construcción o facilidad de fabricación. Todo esto junto a consideraciones legales relativas a trasgresión de patentes y responsabilidad civil y penal en el caso de fallo de la solución o proyecto.*

*Von Kármán también insiste en esa diferencia: Un ingeniero es alguien que aplica los principios de la Ciencia y las Matemáticas para producir instalaciones y generar productos en beneficio del hombre, constatando que la Ciencia refleja la búsqueda o exploración del hombre para entender la naturaleza tal como existe, mientras que la Ingeniería plantea al hombre el desafío de crear lo que no existía, aumentando así el bienestar del hombre.*

*Quizás las posiciones más distantes con respecto a la Ingeniería las defiende el matemático Harold Hardy, que afirma: En esta definición de utilidad, las Matemáticas son completamente inútiles, totalmente triviales. Es cierto que las Matemáticas elementales como lo puede ser la aritmética, el álgebra e incluso el cálculo elemental tienen aplicaciones en ingeniería, en finanzas, en medicina y hasta en psicología. Sin embargo este tipo de Matemáticas triviales distan mucho de ser Matemáticas reales; no tienen su profundidad, ni su belleza, ni su seriedad.*

*Aparte de suponer que en ingeniería sólo se utilizan matemáticas elementales, no son de esta opinión otros matemáticos que han contribuido decisivamente al desarrollo de importantes ramas de la Ingeniería, como es el caso de Courant, uno de los padres del método de los elementos finitos: La Matemática presentada como un sistema de verdades, acabado y ordenado, sin referencia al origen y propósito de sus conceptos y teorías, tiene su encanto y satisface una necesidad filosófica. Pero esa actitud introvertida en el campo de la Ciencia, no es adecuada para los estudiantes que buscan independencia intelectual, más bien que indoctrinación. Y menospreciar las aplicaciones e intuición conduce al aislamiento y atrofia en la Matemática. Entonces,*



*resulta sumamente importante que estudiantes y maestros estén a salvo del purismo presumido.*

Dos de las características de la Ingeniería son su multidisciplinariedad, como queda patente en la estructura de su carrera y la actividad de trabajo en equipo, único camino para convertir ideas en realidad. La mayoría de los avances provienen de colaboraciones sinérgicas entre individuos de distintas disciplinas.

Con tal cantidad de definiciones tan halagüeñas e idealizadas no es de extrañar que todos se quieran apuntar al carro de la Ingeniería. La Ingeniería está muy bien vista y basta observar el uso generalizado de esa palabra aplicándola a un sinfín de nuevos conceptos y contextos en sentido de ingenio, como corresponde a la etimología de la palabra, como reingeniería, ingeniería social, del comportamiento, del consentimiento, del lenguaje, del ocio, genética, tisular, etc., es decir, acepciones ignotas hace sólo 40 años, aunque no siempre en un sentido positivo, como ingeniería contable, financiera, fiscal, etc.

Como resumen de lo anterior, se deduce que Ciencia e Ingeniería no se oponen sino que se complementan. Comparten la pasión e intensidad por el descubrimiento, esfuerzo intelectual y la satisfacción o frustración en el proceso creativo y sus resultados. Muchos ingenieros han demostrado ser relevantes científicos y muchos científicos han realizado aportaciones relevantes en Ingeniería. De todo lo anterior, se deduce que la formación universitaria de Ingeniería exige:

- Adquirir un amplio espectro de conocimientos científicos, en particular, de Matemáticas y de Ciencias.
- Realizar ensayos o experimentos científicos para demostrar la viabilidad de sus propuestas teóricas y de sus realizaciones y avances científicos y técnicos.

## **2. La Ingeniería como disciplina de conocimiento**

A lo largo de la historia la técnica y luego la tecnología precedieron al conocimiento científico. Es en el siglo XVI cuando los científicos comienzan a interesarse por los procedimientos utilizados por los artesanos.

En la segunda mitad del siglo XVII se produce un avance importante con la creación en Inglaterra de las sociedades científicas para la promoción del conocimiento experimental físico y matemático.



A partir del siglo XVIII, la Ciencia pasa a primer plano y precede a la tecnología aunque con algunas excepciones notables. Los avances científicos anteriores empezaron a encontrar aplicación práctica, con lo que se fueron introduciendo métodos científicos en diferentes campos de Ingeniería. En particular, los nuevos desarrollos en la Ingeniería militar y estructural exigían no sólo experiencia y conocimiento práctico, sino capacidad de análisis y de modelización. Así se fundaron las primeras Escuelas de Ingeniería y se publicaron los primeros textos sobre Matemáticas y sus aplicaciones en campos tecnológicos.

Sin embargo, la investigación científica respondía más a una curiosidad desarrollada por científicos aislados o desde las academias privadas, algunas de las cuales desembocaron en Academias de Ciencia, que a una necesidad de solución de problemas prácticos. En la segunda mitad del siglo XVIII las diferentes maneras de considerar la Ciencia se hacen patentes respondiendo a dos escuelas filosóficas: La inglesa, soportada fundamentalmente por la base experimental, y la francesa, a su vez, por el conocimiento científico.

A finales del siglo XVIII la Ciencia francesa experimenta un cambio de carácter y asume unos objetivos prácticos, influenciada por los acontecimientos de la Revolución Francesa, reclutando científicos que enfocan su trabajo en la resolución de problemas técnicos. En este contexto nace l'École Polytechnique de París, que marca un antes y un después en la educación de la Ingeniería: Propuesta por científicos e ingenieros, suponía un nuevo tipo de Escuela de Ingeniería sustitutivo de las del Antiguo Régimen respondiendo a la demanda urgente de ingenieros altamente cualificados para construir fortificaciones, carreteras y puentes y para el desarrollo de la artillería. En 1794 se aprobó la propuesta y al final del mismo año comenzó la impartición de la enseñanza. En 1795 recibió el nombre que conserva en la actualidad: École Polytechnique.

Contrariamente al sistema de enseñanza precedente, permitía la admisión de los mejores alumnos, con independencia de su clase social mediante exámenes competitivos, contando a su vez con excelentes científicos y profesores que proporcionaban una misma formación básica de las materias fundamentales, como Matemáticas, Mecánica, Física y Química, para las diferentes ramas de Ingeniería, con una especialización posterior en el tercer año. El sistema introducía la enseñanza reglada de Ciencias básicas en Ingeniería por primera vez con impartición de clases magistrales a grandes grupos de alumnos, combinada con clases de problemas y de laboratorios en pequeños grupos de alumnos. De este modo, el sistema sustituyó al aprendizaje individualizado no reglado e ineficaz.



Así l'École Polytechnique se convirtió más tarde en una Escuela de impartición de Ciencias básicas, que proporcionaba la formación fundamental necesaria a los alumnos que más tarde optaban por las Escuelas Especiales de Ingeniería y las Academias militares. Los mejores matemáticos de la época enseñaron en la Escuela y transmitieron su entusiasmo a los alumnos.

La enseñanza magistral en grandes grupos implicaba la preparación de libros de texto y así se publicaron importantes obras sobre cálculo diferencial e integral, geometría descriptiva, mecánica, física, análisis, resistencia de materiales, etc., que se extendieron rápidamente en Francia y otros países del entorno, ejerciendo una notable influencia y fomentando las Ciencias fundamentales.

Esa formación científica amplia, demostró ser un total acierto y contribuyó decisivamente al desarrollo de la Ingeniería. El modelo se extendió rápidamente por los países vecinos, en muchos casos promovidos por antiguos alumnos de la Polytechnique.

En España, Agustín de Betancourt, buen conocedor de las tecnologías de Francia e Inglaterra, propugna y consigue en 1802 la creación de la Escuela Oficial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, primera Escuela de Ingenieros de España.

### 2.1. Sobre algunos sistemas de enseñanza en Ingeniería

El sistema norteamericano es un referente actual obligado, debido a su alta eficiencia, como evidencian todas las catalogaciones universitarias. Se trata de un sistema altamente competitivo en el acceso a la Universidad que puede incluir adicionalmente una prueba de admisión, aparte de los méritos previos acreditados por el candidato. Los derechos de matrícula son elevados, aunque ofrecen sistemas de becas que favorecen a los estudiantes excepcionales, con independencia de su situación económica. En las universidades europeas continentales esto no suele ser la norma, aunque se exija en algunos casos buen expediente.

EEUU ha promovido la competencia entre universidades privadas y universidades estatales, con un buen éxito a juzgar por los resultados. Esto da lugar a un amplísimo abanico de diversidad en la calidad, entre lo más selecto del mundo hasta universidades con un nivel claramente inferior al de las universidades europeas.

El propio sistema universitario en EEUU, con un dinamismo basado en la competitividad y en una rápida adaptación a la demanda del mercado, facilita la diversidad de la especialización en los másteres sin la burocracia que caracteriza a las universidades europeas. Las universidades norteamericanas conciben el máster como



Universidad de  
Oviedo

una especialización a un alto nivel, incluso ya enfocada a la investigación. Es éste uno de los grandes éxitos del sistema norteamericano, que junto a un profesorado competente y a una industria tecnológicamente muy avanzada resulta ser un dominio de atracción, en primer lugar, para los mejores estudiantes, pero también para excelentes profesores de todo el mundo, con la consiguiente espiral creciente de calidad / investigación / nivel tecnológico.

En la universidad tecnológica de los EEUU se observa un notable cambio tras la 1ª Guerra Mundial. Tal vez debido al convencimiento de que el sistema europeo, heredero de l'École Polytechnique, era el más correcto y eficaz para alcanzar un alto nivel tecnológico-científico de la industria americana, pero también influido, sin duda, por la incorporación de magníficos científicos e ingenieros europeos y asiáticos que revolucionaron el nivel científico de las Universidades Tecnológicas norteamericanas.

Timoshenko, von Kármán, von Neumann, Courant, por recordar sólo algunos nombres de un conjunto de ingenieros o científicos que influyeron fuertemente en la Ingeniería americana, cambian su panorama prácticón, logrando sentar las bases científicas actuales, que permiten ese arrollador estado de supremacía de las universidades norteamericanas que consigue ahora que 17 universidades americanas figuran entre las primeras 20 del mundo. Es esa la capacidad de superación de EEUU y la necesidad, o al menos conveniencia, de tener en cuenta los criterios que han seguido y siguen para alcanzar ese importante logro.

En Europa, la característica es una alta homogeneidad de las universidades, independientemente del país: Alemania, Francia, Suiza, Austria, Italia, Suecia, Portugal Chequia, Polonia, etc.

En España, el plan de estudios de 1964 se procedió a una drástica reducción de la duración de la carrera que pasó a ser provisionalmente de 5 años para hacer frente a las necesidades de ingenieros en el Plan de Desarrollo de mediados de los 60, manteniendo los dos primeros cursos de naturaleza selectiva. Más tarde se fijó una duración de 6 años relajando la condición de selectividad, hasta el Plan de Estudios de la LRU, en el que la carrera se acorta de seis a cinco años y el número de horas de docencia reales se reduce a más de la mitad.

En estas circunstancias se adopta el Plan de Bolonia, en el Marco Europeo de Educación Superior, sin que se pueda demostrar su eficacia. En el panorama de homogeneidad europeo, ¿De dónde surge la necesidad de implantar el Plan de Bolonia? ¿Qué novedad entraña?



Se introducen constantes evaluaciones, y las clases siguen siendo masivas, como no podía ser de otra manera en una época de crisis como la actual, puesto que su reducción hubiera exigido un aumento inasumible del gasto.

Quizás lo más interesante sea comprobar hasta qué punto la Ingeniería del eufemismo, que ya asoló la Enseñanza Secundaria, entra ahora en la Universidad española, pudiendo incorporarse estos nuevos eufemismos a los ya tratados por el Prof. Martínez en su Lección Inaugural del Curso 2006-2007. De “especialización” se pasó a “intensificación” y ahora al abstruso nombre de “mención”; los exámenes se denominan, como en la Lou o la Logse, “proceso de evaluación” y se contabilizan como créditos activos; los repasos de problemas se llaman “tutorías grupales”, y como novedad se pasó, aunque ya hace tiempo, de horas impartidas a “créditos”, supuestamente para evitar la vulgaridad de hablar de horas de clase y para aproximarnos al lenguaje bancario y conseguir demostrar al no iniciado en la jerga universitaria que  $2+2=5$ , es decir, que 27 horas semanales lectivas en un plan de estudios anterior, son equivalentes a 21 horas semanales en el plan actual, es decir, 60 créditos ECTS. Así se distinguen y se contabilizan “créditos presenciales” y “no presenciales”, estos últimos equivalentes a un matrimonio por poder.

¿Y qué es lo que ha logrado Bolonia? El reconocimiento de las titulaciones entre países, ya existía “de facto”, y la pretendida homogeneización no es tal. Prueba de ello son las diferentes modalidades que aparecen y que dificultan el intercambio de estudiantes, con sistemas de 3+2, 3,5+1,5, ó 4+1 que sólo adoptan España, Escocia y Bulgaria. Aparte de ello elimina la carrera, de Ingeniero Técnico, sancionada por la industria, y consigue que al pretender garantizar una formación generalista, se acabe volviendo, por presiones de los colegios profesionales, a sistemas dispares, como 4+1, 4+1,5 o 4+2, esta última de 6 años, como antes, pero con muchas menos horas lectivas.

Pero sobre todo, ocurre que en Ingeniería, por su naturaleza más generalista y por la necesidad de garantizar una sólida formación en las materias básicas científicas, incluso en las de mayor especialización, como es el caso de Telecomunicación, un sistema de dos niveles, grado-máster conduce, sin presencia de la debida competitividad en la admisión y exigencia en el nivel de entrada, a la imposibilidad de programar adecuadamente el nivel de asignaturas básicas necesarias, debido a la incompatibilidad en la programación.

### **3. De la ETSII de Gijón: Génesis, desarrollo y consolidación**



Universidad de  
Oviedo

La carrera de Ingeniería Industrial es una amalgama, no de especialidades, sino de Ingenierías, propias de un centro politécnico, tales como Ingeniería mecánica, eléctrica, electrónica, construcción, química y organización industrial, que ha creado y sigue creando problemas en el desarrollo de los planes de estudio, en particular en el nuevo Plan de Bolonia, por su diferente enfoque al del resto de Europa e incluso del mundo, exceptuando algunos casos aislados en Sudamérica.

La Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, ilustrativamente, ha experimentado, desde su creación en 1977, cuatro cambios de nombre y tres mudanzas de localización, y no gozó de la satisfacción de ver rotulado su nombre en el exterior del edificio que la albergaba hasta el año 2000.

Comenzó su actividad como ETSII de Gijón bajo la dirección del Prof. Luis Ortiz Berrocal, que en un alarde de Ingeniería de gestión (como se denominaría ahora la agudeza para superar determinados trances administrativos) consigue en pocos años el asentamiento y desarrollo de unos equipos de investigación activos en las diferentes áreas de conocimiento. Durante cuatro años, la Escuela convive con la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial y se traslada en 1983 al nuevo campus, entonces de Viesques, al inaugurarse el nuevo edificio de la Escuela. En 1991 se incorpora al centro la titulación de Ingeniería Informática. En 1996 por circunstancias que nos resultan dolorosas, se localiza provisionalmente en el nuevo campus y finalmente en 1999 se establece definitivamente en su sede actual, con la incorporación en 2000 de Ingeniería de Telecomunicación. Algo más tarde, en 2006, pasa a denominarse Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón, y en 2010 como unificación con las Escuelas Universitarias de Ingeniería Técnica Industrial e Ingeniería Técnica Informática se transforma en la actual Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, perdiendo por el camino la denominación de “Superior”.

Durante este periodo se producen dos cambios sustanciales del plan de estudio ya mencionados.

El proceso de consolidación durante todos estos años ha sido difícil, como ocurre en todo centro universitario de nueva creación cuyo desarrollo se produce preponderantemente gracias a un profesorado joven, muy motivado, pero con las lógicas carencias iniciales de conocimiento y experiencia, hasta lograr alcanzar, en general con un esfuerzo adicional, lo que ya existe en los centros consolidados, es decir, un bagaje de conocimientos específicos de las respectivas áreas, la estabilización en la producción de los grupos de investigación con unos responsables que facilitan la incorporación a la



Universidad de  
Oviedo

investigación de los jóvenes y dan estabilidad a los grupos. En este proceso la Escuela se ha ganado una posición y un respeto dentro de la Universidad.

En los años 90 se crearon la Oficina de Relaciones Internacionales, la Oficina de Relaciones Industriales y el Consejo Asesor de la Industria. En ese tiempo, también se promovió desde la Escuela la creación de la ONG Ingenieros sin Fronteras y se inició la colaboración en proyectos de cooperación. En 2001 se aprobó oficialmente el Instituto Universitario de Tecnología Industrial de Asturias (IUTA) con el apoyo institucional y económico del Ayuntamiento de Gijón.

Con todo ello, se pretendía, por una parte, ofrecer mejores oportunidades de promoción a nuestros alumnos, mediante lo que denominamos el hecho diferencial de contar con una experiencia a nivel internacional y de prácticas en empresa, por otra, promover una formación humanística comprometida con el entorno social, y por último, lograr una mayor implicación y compromiso de la propia Escuela en la reindustrialización y de la industria local y regional, tanto en la contratación posterior de los egresados, como en el enfoque de la enseñanza.

El compromiso de algunos pocos profesores, el apoyo de la Prof<sup>a</sup>. Simón Schuhmacher, Directora de la recién creada Oficina de Relaciones Internacionales de la Universidad de Oviedo, y la implicación de unos estudiantes-becarios permitieron iniciar un despegue extraordinario de intercambios en una reciente Escuela de Ingeniería. El reconocimiento internacional, particularizado en convenios universitarios de colaboración internacional, como los programas Erasmus, Comett y Leonardo da Vinci, fue muy ilusionante y gratificante.

La vocación internacional exigió, y sigue exigiendo, muchas horas de dedicación, permitiendo no sólo los intercambios de carácter docente, sino los primeros acuerdos estables de prácticas. Pese al prestigio que fuimos conquistando, gracias al comportamiento y conocimiento de nuestros alumnos y (aquí sí quiero enfatizar) alumnas, los acuerdos suponían un baño de modestia: Los primeros acuerdos se restringían a las Fachhochschulen alemanas y a los Polytechnics ingleses, cuando todavía nuestra trayectoria investigadora no avalaba nuestro nivel real. Situaciones de enfrentamiento y ruptura en algún caso, dejan paso por fin, en los años 90 al establecimiento de acuerdos con Universidades de primera fila en Alemania, Francia, Reino Unido, Portugal, Suecia, Italia, Dinamarca, etc.

#### **4. Sobre la investigación aplicada**



Parecen claras las diferencias entre la investigación básica y la investigación aplicada, pero su trascendencia puede ser motivo de debate. ¿Es más importante para la Humanidad la teoría cuántica de Planck o el invento del frigorífico y la lavadora? ¿Es razonable la atención que despierta en los medios el bosón de Higgs, cuando sólo una selecta minoría de personas es capaz de entender su significado y cuya repercusión actual es poco menos que nula?

No es la primera vez que avances tecnológicos nacidos de aplicaciones o de necesidades ajenas a la Ciencia acaben incidiendo en avances para el bienestar.

En la investigación aplicada sentimos, efectivamente, la necesidad de acudir a diferentes campos o modelos matemáticos para seguir avanzando en el conocimiento y en la aplicación práctica a medida que nos vamos encontrando ante diferentes problemas de Ingeniería. Ese continuo proceso de aprendizaje de nuevos campos de estudio es muy satisfactorio y ayuda a descubrir, reconocer y aceptar con modestia la evidente ignorancia que uno constata a medida que se acerca a nuevos dominios de la Ciencia.

Por ello, con el fin de ilustrar la actividad investigadora aplicada que ha desarrollado nuestro grupo de trabajo, como representativo de nuestra Escuela presento dos ejemplos que ilustran la necesaria evolución de la investigación a nivel multiescala, a medida que va surgiendo la necesidad de analizar a un nivel cada vez más científico los fenómenos inherentes a los problemas prácticos que se presentan en aplicaciones ingenieriles.

El primer ejemplo representa una línea de investigación amplia, mantenida a lo largo de más de treinta años desde su origen en 1979 y supone la imbricación de mi primera experiencia investigadora iniciada en la Escuela de Gijón con la desarrollada durante el periodo de formación en el grupo de investigación del Prof. Thürlimann del IBK del Departamento de Ingeniería Civil de la ETH de Zúrich en donde tuve el privilegio de trabajar durante los periodos 1972-75 y 1979-81. Facilitó una fructífera colaboración, extendida luego al Empa, (Laboratorio Federal Suizo de Ensayos de Materiales e Investigación), de Dübendorf, Zúrich, que se mantiene hasta la fecha. Está relacionada con la modelización, no sólo en investigación sino de aplicación en los cálculos prácticos cotidianos y ejemplariza la necesidad de la investigación multiescala. Mi incorporación en 1981 a la ETSII de Gijón, como Escuela recién formada, y a la sazón, sin edificio propio, no permitía la continuidad de los trabajos iniciados en Zúrich por limitaciones de equipamiento, pero marcó el deseo de instaurar un línea con una marcada componente experimental. La fortuna de contar con dos colegas especialmente capacitados y motivados, como han sido el Prof. Antonio Argüelles y el maestro de



laboratorio Roberto García, para garantizar el desarrollo y dirección de un laboratorio de gran envergadura, permitió la consolidación de esa línea años más tarde.

El excelente equipamiento de nuestro Laboratorio de Resistencia de Materiales y Estructuras del Departamento de Construcción e Ingeniería de Fabricación de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón es el fruto del trabajo y del acierto en las líneas de investigación emprendidas. Los comienzos fueron arduos. La adquisición del primer ordenador personal no se produjo hasta 1986, gracias a un proyecto de investigación en colaboración con la empresa Saint-Gobain Cristalería. Nuestra primera estación de trabajo, adquirida para permitir los cálculos por elementos finitos data de 1989. Su adquisición fue posible por financiación parcial en el marco de un proyecto FYCIT, aunque para completar el pago hube de recurrir a un préstamo personal de 2 millones de pesetas, al 10% de interés, que el altruista padre de un colega de la Escuela tuvo a bien concedernos (en aquel momento se pagaban intereses del 16% al 20%), y que fuimos devolviendo como pudimos.

Este equipamiento nos ha permitido adquirir unos conocimientos científico-técnicos, pero también prestar servicios a las industrias, sin que hayamos pretendido ser competencia desleal a otras empresas. No somos los mercenarios de la empresa, ni tampoco somos una Universidad ajena al entorno industrial que estamos comprometidos a ayudar y promocionar. Ejemplo de ello es el modelo de Instituto Universitario que promovimos, el IUTA, o el que propugnamos en su día como Centro de Desarrollo del Diseño, hoy materializado como PRODINTEC. Hemos hecho lo que las empresas no saben o pueden hacer, ya sea por razones de conocimiento, economía o por carencia del necesario equipamiento. Si en algunos casos abordamos tareas de simple desarrollo profesional ingenieril, ha de entenderse como intervenciones puntuales con dos claras y lícitas finalidades: mantenimiento del conocimiento práctico para poder transmitirlo a los alumnos en la docencia y traslado de conocimiento y aplicación de programas de cálculo a las empresas para las que trabajamos. De ello son testigos una larga lista de empresas.

Fractura y fatiga, que no cansancio, eran temas prácticamente exóticos en España hace sólo 40 años, pero hoy son fundamentales en el desarrollo y la integridad de elementos mecánicos y estructurales e incluso electrónicos. Por restringirnos a un dominio de usuarios, estamos acostumbrados a despreciar el riesgo que supone el transporte de vehículos, trenes y aviones del que participamos todos diariamente, pero ya en 1842 se informaba sobre los primeros casos de accidentes, en este caso de choque de trenes, debidos a fallos por fatiga, todos ellos con un considerable número de pérdidas humanas. Todavía en los años 50 las tragedias debidas a errores o falta de conocimiento



relacionados con el fenómeno de fractura, como en rotura de presas y de fatiga, causantes de graves accidentes del avión no eran extrañas, por no recurrir al manido ejemplo de los barcos Liberty y sus espectaculares fracturas. Los casos de los accidentes del avión De Havilland Comet en 1954, motivados por fatiga, son bien conocidos pero desde entonces hasta hoy, se han sucedido una larga serie de accidentes de avión, de trenes e incluso de plataformas petrolíferas, con grandes pérdidas humanas, debido a fatiga, el último todavía en 2005. A pesar de todo, como se puede observar de las primas de riesgo de las aseguradoras, la Ingeniería ha conseguido garantizar unconsiderable descenso de esos accidentes.

A lo largo de los años de trabajo en este campo hemos descubierto la necesidad de considerar el efecto multiescala en los modelos, para analizar el problema de fatiga desde el nivel de las estructuras de hormigón hasta el nivel atómico en modelos cuasicontínuos, en una sucesión continua, pasando por la mecánica de la fractura como soporte necesario. La evaluación de los resultados del programa experimental realizado en el Empa, nos condujo al estudio estadístico del fenómeno estocástico de fatiga, ante la necesidad de desarrollar un modelo general para la consideración probabilística de daño que permitiera una predicción más fiable de la vida de los elementos, componentes o estructuras, lo que ahora se conoce como integridad estructural y para la interpretación del efecto de escala. Tras un intento infructuoso de asesoramiento con los estadísticos de la ETH, surgió la providencial colaboración con el Prof. Castillo Ron de la Universidad de Cantabria, ingeniero de caminos y más tarde matemático, Dr. Hc. por esta Universidad, y de ahí la aplicación de la estadística de extremos al problema. La imposición de la condición de compatibilidad entre las distribuciones de vida y del rango de tensiones condujo al establecimiento de una ecuación funcional, cuya resolución, gracias a la intuición y conocimiento del Prof. Castillo permitió una innovadora solución del problema y el inicio de una sucesión de modificaciones y avances en el campo de fatiga y de fractura, reduciendo las hipótesis arbitrarias de partida, y facilitando la optimización en la estimación de los parámetros del modelo. De ese modo, se reducía todo el campo de Wöhler a una única función de distribución, permitiendo una disminución del número de ensayos y una estimación más fiable de los parámetros del modelo, incluyendo la posibilidad de extrapolación en los casos prácticos, fuera del rango experimental ensayado. Aparte de esto, la generalización del concepto probabilístico y de la aplicación de ecuaciones funcionales, permitió establecer una relación entre las diferentes formas de analizar la fatiga.

Durante el proceso anterior surge la oportunidad de iniciar una línea de estudio e investigación sobre la mecánica de la fractura. Unos apuntes del seminario que mantuvo el Prof. Freudenthal en la ETH en mayo de 1971, la curiosidad y respeto que despertaba



la reciente actividad del grupo del Prof. Elices de la Universidad Politécnica de Madrid en dicho campo y el convencimiento de que se trataba de una línea de investigación con futuro condujeron al inicio de la investigación en la mecánica de la fractura en la Universidad de Oviedo. Creo que no nos equivocamos.

La intensificación de la colaboración con la ETH y Empa debido a las nuevas perspectivas de la modelización con las aportaciones del Prof. Castillo facilitaron las primeras subvenciones de proyectos de investigación y con ello la extensión de colaboraciones internacionales con la Universidad de Glasgow y la Universidad de Bath. Asimismo, la necesaria consideración de métodos ópticos para la medición de las deformaciones y por tanto para la determinación de tensiones, propició el contacto con el Prof. Kalthoff de la Ruhr-Universität Bochum, conocido internacionalmente por su aportación en la aplicación de las llamadas caústicas en mecánica de la fractura, durante una visita institucional con el entonces rector Prof. López Arranz en 1988. Con el Prof. Kalthoff se desarrolló un concepto tensorial del factor de intensidad de tensiones. Por su mediación también establecimos contacto con un relevante científico americano Dan Post, que nos instruyó en aplicaciones de la interferometría moiré, y de moteado (speckle).

El mismo modelo tensorial se aplica para presentar y discutir el mantenimiento de modelos o teorías de dudoso o insuficiente rigor que, por su gran difusión, han convertido en incuestionables ciertos principios o métodos de la mecánica de la fractura basados en premisas endebles o incluso erróneas y buscar las posibles razones que explican esta sorprendente persistencia y proponer alternativas presuntamente más correctas. De ahí la necesidad de una revisión profunda, crítica y general de modelos fundamentales de la mecánica de la fractura considerando la ineludible naturaleza tridimensional del problema. Reflexiones similares son aplicables en el campo de la fatiga a los modelos más utilizados.

Sin embargo, surgen otros problemas que exigen también nuevas soluciones, conceptos y técnicas. Así, la experimentación llevada a cabo en colaboración con el Empa demuestra la insuficiencia del modelo actual aplicado al efecto de escala y la necesidad de recurrir a modelos sobre fisura cohesiva y ajuste asintótico (asymptotic matching). Asimismo quedan por resolver cuestiones que relacionan problemas de escala y autosimilaridad de gran incidencia en la modelización en Ingeniería.

Actualmente continúa la investigación con el Empa en fatiga, y se desarrollan programas de cooperación en fatiga y fractura con el Instituto de Física de Materiales de Brno, de la Academia de Ciencias de La república Checa, y con el Centro de Problemas



de Ingeniería Energética de Kazan, de la Academia Rusa de Ciencias, mientras que se mantiene una relación continuada con los profesores Giner de la Universidad Politécnica de Valencia y Fernández Sáez de la Universidad Carlos III de Madrid. En todas estas actividades, los cálculos numéricos por el método de los elementos finitos y, puntualmente, por el de los elementos de contorno, han sido una componente ineludible. En este campo hemos tenido el privilegio de gozar del asesoramiento e instrucción de los profesores Alarcón de la UPM, Doblaré de la Universidad de Zaragoza y Blázquez de la Universidad de Sevilla.

Por último, llegamos al convencimiento de la necesidad de recurrir a modelos uasicontínuos a escala atómica, como los propugnados por la Prof<sup>a</sup>. Pilar Ariza de la Universidad de Sevilla, con la que colaboramos actualmente para tratar de encontrar una posible solución a uno de los problemas aún no resueltos en la mecánica de la fractura: la predicción de fractura en modo mixto.

En el segundo ejemplo, pretendo exponer cómo un proyecto de investigación para la industria, en este caso con Saint-Gobain Cristalería de Avilés sobre seguridad y cálculo de elementos estructurales de vidrio, puede derivar en una ramificación de líneas de investigación. Inicialmente los modestos objetivos del proyecto consistían en comprobar la idoneidad de las tablas CITAV para el dimensionamiento de placas de acristalamientos de vidrio, que parecían no mostrar un coeficiente de seguridad homogéneo. Tras el correspondiente estudio se recurrió al modelo de von Kármán para el análisis no lineal de placas con grandes desplazamientos. En aquel momento, corría el año 1986, no disponíamos de programa de cálculo de elementos finitos, ni siquiera de ordenador. Precisamente este proyecto dio opción a la primera adquisición de un modesto PC. Resuelto el modelo y contrastado con los ensayos realizados por la empresa, se pasó al análisis de estado límite último de rotura, basado en una aproximación conjunta de mecánica de fractura y de estadística de extremos y a su contraste experimental. La evolución nos llevó del vidrio monolítico al vidrio laminado y, en colaboración con el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), a iniciar un primer estudio para la redacción de una propuesta de norma para vidrio estructural, inexistente hasta la fecha en España, lo que condujo a la necesidad de caracterización mecánica del butiral de polivinilo (PVC), como material viscoelástico de la capa intermedia del laminado. Con ello se abrió una línea de investigación sobre la caracterización de las propiedades mecánicas de polímeros y elastómeros, propiciando a continuación la colaboración en el campo de la Biomecánica y Bioingeniería con los Profs. López Arranz y de Vicente de Cirugía Maxilofacial de la Universidad de Oviedo y el Prof. Doblaré responsable del grupo de Mecánica Estructural y Modelado de Materiales de la Universidad de Zaragoza para el estudio de la modelización del



comportamiento mecánico de tejidos biológicos, en particular, del disco de la articulación témporo-mandibular. A esta línea de investigación se sumó más tarde la colaboración con el Prof. Tanaka de la Universidad de Tokushima en Japón.

El estudio del PVB fue el inicio de una fase de desarrollo experimental y de modelización para el análisis del comportamiento viscoelástico lineal y no lineal de materiales, cuyas propiedades dependen fundamentalmente del tiempo y la temperatura, mediante la consideración de transformadas de Fourier y aplicación de series de Prony para su posterior cálculo por elementos finitos. Más tarde, la colaboración con el Prof. Cortés de la Universidad de Mondragón nos permitió avanzar en la determinación de los módulos de relajación y fluencia de diferentes materiales viscoelásticos y elastoméricos con fines industriales bajo solicitaciones estáticas y dinámicas, así como en la posible aplicación de la teoría de cálculo fraccional para la modelización de medios viscoelásticos.

Asimismo, colateralmente se abordó el efecto de escala y actualmente se investiga la aplicación de la teoría de cópulas al análisis de valores extremos para la determinación de la distribución espacial de microgrietas superficiales en el vidrio que daría la clave para una predicción fiable de rotura de placas de acristalamiento bajo condiciones de biaxialidad de tensiones.

De este modo, una mera colaboración en un proyecto industrial ha conducido a la apertura de una línea de investigación múltiple de alto nivel, con colaboraciones nacionales e internacionales con excelentes grupos de trabajo y empresas, que permite nuestra incorporación al Grupo Español GT3 del programa COST para la elaboración de una guía de cálculo estructural de componentes de vidrio a escala europea.

## **5. Unas reflexiones finales sobre el futuro**

El análisis de la página web del MIT en lo que atañe a departamentos no introduce una variación sustancial con respecto a nuestras enseñanzas en España. De hecho la denominación es totalmente tradicional. Esto parece indicar que son los departamentos los que proponen su propia diversidad y que, junto a especialidades convencionales, que permiten adquirir la formación técnica que demanda la industria tradicional, aquéllos ofrecen otras novedosas especialidades. Éstas marcan también no sólo nuevas tendencias en la actividad industrial, sino precisamente indican la creación de nuevas industrias que permiten a los países de vanguardia tecnológica abrir nuevos frentes a los que los países con menores recursos sólo podrán llegar con un cierto desfase; el suficiente, para que los países de vanguardia inicien un nuevo ciclo innovador.



Esto es algo que deberemos tener en cuenta en la elaboración de los planes de estudio actuales y que, como decía anteriormente, evidencia la necesidad de formación y de superación del profesorado que no puede aferrarse, como ocurría hace años, a una línea de investigación inmutable. Por otro lado, la multidisciplinariedad de los temas que se postulan o presumen, a la vista de lo que observamos actualmente, exige la colaboración con otros equipos investigadores de muy distinta formación y carrera. Baste mencionar bioingeniería, o Ingeniería biomédica.

Estamos ante una difícil disyuntiva. En Ingeniería, donde el conocimiento científico es premisa para una aplicación práctica, estamos observando que el uso generalizado de programas comerciales de cálculo va muy por delante del conocimiento, no digo profundo, sino superficial de los fundamentos que serían necesarios para una utilización racional de tales programas, de modo que son una peligrosa herramienta en manos de quien no posee el adecuado nivel de conocimientos básicos, por los errores que pueden surgir de una irresponsable aplicación de dichos programas, aunque estén revestidos de un prurito de robustez y de atractivos gráficos en la presentación de resultados. La base de estos programas son rigurosos modelos que exigen un alto nivel de conocimientos, justamente en un momento histórico en el que el nivel matemático y la exigencia conceptual y teórica del alumno han experimentado un notable descenso, lo que, a su vez, conllevará una pérdida de la exigencia de conocimientos del profesor por mucho que se pretenda hacer ver lo contrario.

En la *Laudatio* del acto de investidura como Dr. Hc. del Profesor Castillo Ron, en 1999, comenté, que:

*Recientemente se cuestionó la modernidad del modelo tradicional en las carreras de Ingeniería en España y se planteó la conveniencia de adoptar unos estudios más influidos por el modelo anglosajón, con un mayor acento en la especialización, que fue motivo de debate en la definición de las directrices. Concluida una breve etapa de defensa a ultranza de la formación especializada por parte de prestigiosos grupos de investigación universitarios, la evolución de la tecnología y de la economía a nivel mundial han demostrado que la formación generalista, complementada con una racional especialización sigue siendo un enfoque actual y adecuado y, desde una perspectiva personal, la base deseable para propiciar una formación continua y una mejor adaptación a las nuevas y cambiantes situaciones del mercado de trabajo. Esto no es sólo aplicable al caso español, por sus especiales condiciones socio-económicas e industriales, en general, con presencia mayoritaria de empresas con escasa aportación a la innovación tecnológica, sino que es igualmente extensible a países con tecnología punta.*



Hay que estar atento para interpretar esas voces privilegiadas que hablan sobre el nuevo sistema educacional y para compartir las tendencias del MIT y otros centros de referencia en lo que se refiere a propuestas de futuro, pero también hay que ser realistas para proponer soluciones factibles y compatibles con nuestra realidad muy condicionada por unos presupuestos escasos.

### **5.1. Algunos principios y opiniones**

No creo en esa “calidad protocolaria” que ni siquiera sigue un protocolo real y eficaz a la hora de llevarla a la práctica y que ignora la especificidad de la carrera a la que se trata de aplicar, sino en la calidad que sigue un esquema simple, específico y universal.

Creo en el trabajo de equipo, serio, continuo y abnegado y en la colaboración con otras universidades e instituciones como solución adecuada. Me parece que para la realidad de la industria española y asturiana, en particular, nos basta con ese nivel y objetivos, es decir eficacia, continuidad y espíritu de servicio.

Creo en el compromiso, preocupación y medidas concretas de una Escuela, como la nuestra, y de su profesorado implicado con el futuro de sus egresados, que apostó, impulsó y promocionó programas de intercambio de estudios y prácticas en empresas a nivel nacional e internacional, porque esa es la mejor medida de la calidad de su enseñanza, que va a ser sancionada por la sociedad en el desarrollo de su función profesional, y porque demuestra que se trata de una enseñanza implicada en el resultado, que obliga a reflexionar sobre la sociedad, la enseñanza y la responsabilidad que nos atañe como enseñantes.

La Ingeniería permite disfrutar de las facetas más agradecidas y emocionantes del conocimiento, tanto científico como tecnológico. Así he disfrutado tanto en la docencia y en la investigación como en la práctica profesional. Esta última supone, al igual que en el campo de la medicina, una sobrecarga en nuestras obligaciones académicas, que limitan aparentemente nuestro rendimiento científico.

Por otro lado, con toda modestia, agradezco a la Ingeniería haberme permitido advertir las limitaciones inherentes a esa pretensión de abarcar ese amplio espectro de conocimiento.

Por último, no puedo evitar sentir una gran satisfacción por mi contribución, junto a la de otros muchos profesores de la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón al buen



Universidad de  
Oviedo

nombre de la Universidad de Oviedo. Nuestra dedicación ha excedido con creces, lo que se nos hubiera podido demandar, incluso en la hipótesis más exigente.

## **6. Agradecimientos.**

Quiero expresar un emocionado recuerdo y agradecimiento a todos aquellos maestros y colegas que han influido decisivamente en mi formación, forma de trabajo, ideas de importancia práctica y definición de líneas actuales y futuras de investigación, que han repercutido favorablemente en la proyección nacional e internacional de la Universidad de Oviedo. Lo mismo para todos aquellos colegas de la Universidad de Oviedo y de otras Universidades que han contribuido en estos últimos 30 años a un sustancial cambio en el equipamiento y conocimiento técnico del campus de Gijón, en particular, en mi ámbito de conocimiento.

El desarrollo de nuestra actividad investigadora hubiera sido imposible sin las ayudas recibidas para la adquisición de equipamiento y en el desarrollo de proyectos de investigación básica y aplicada de los distintos Planes Regionales de Investigación del Principado de Asturias, a través de la FYCIT, así como de los programas del Plan Nacional de Investigación.

Finalmente, quiero recordar a los ilustres ingenieros Torres Quevedo, Terradas, Torroja, Puig Adam, y tantos otros que, dando nombre a las nuevas calles y edificios del campus de Gijón, suponen para nosotros un orgullo, así como un modelo de trabajo y dedicación a la Ingeniería con el fin de mejorar las condiciones de vida de nuestra sociedad.